مدخل إلى فلسفة العلوم

# الأسس الفلسفية للفيزياء


رودلف كارناب

ترجمة: د. السيد نفادى





دار الثقافة الجديدة

اهداءات ٢٠٠٣
أسرة المرحوم الأستاذ/محمد سعيد البسيوني
الإسكندرية

مدخل إلى فلسفة العلوم

---

الأسس الفلسفية للفيزياء

الناشر :
دار الثقافـــــة الجديــــــدة
٣٢ شـــارع صبرى أبو علـم
القاهرة ـ ت : ٣٩٢٢٨٨٠

---

الغلاف : محمد عزام

☐ مدخل إلى فلسفة العلوم ☐

# الأسـس الفلسفيـة للفيـزيـاء

تأليف: رودلف كارناب

المترجم: د. السيد نفادى

العنوان الأصلي للكتاب


An Introduction to Philosophioal
the philosophy Foundations
of Science of Physios
by
Rudolf Carnap
Basic Books , Inc. Publishers
New York , London 1966 .

# مقدمة المترجم

فى ظل أحداث مثيرة ، وتغيرات عميقة شملت كافة أوجه الحياة ، تمخض القرن العشرون عن ولادة الوضعية المنطقية . ذلك الطفل المدلل والمشاغب لفلسفة القرن العشرين . وكان ذلك حوالى سنة ١٩٢٢ ، نتيجة لقاءات واجتماعات لمجموعة من الفلاسفة والعلماء والرياضيين ، عرفت فيما بعد " بجماعة فيينا " أو " دائرة فيينا " . واستمرت هذه المجموعة أو الحلقة فى نشاط دائب تصاعد إلى الذروة فى الفترة من ١٩٢٦ إلى ١٩٣٦ . ثم لم يلبث أنصارها أن انفرط عقدهم إما إلى الموت أو التفرق خارج البلاد . وأثناء هذه الفترة الوجيزة نجحت هذه الحركة فى أن تجر العالم الفلسفى إلى مجادلات حادة ، ومناقشات حامية ، لا تزال أصداؤها ـ على الرغم من أن الحركة الآن قد انحسرت ـ باقية إلى يومنا هذا .

بدأت الوضعية المنطقية تشق طريقها بفضل مؤسسها موريتز شليك Moritz Schlick ( ١٨٨٢ ـ ١٩٣٦ ) الذى عين استاذاً لفلسفة العلوم فى جامعة فينا سنة ١٩٢٢ . وكان تعيينه هذا مستهلاً لتجمع العديد من العلماء حوله ، وكان على رأسهم هانزهان Hans Mahn أما شليك نفسه فقد كان متخصصاً فى الفيزياء ، وكتب أطروحته للدكتوراه " فى الضوء " تحت إشراف أستاذه الشهير صاحب نظرية الكم ، ماكس بلانك Max Palnck . ولقد عقد شليك روابط صداقة شخصية متينة باستاذه بلانك ، وبصاحب نظرية النسبية الأشهر إينشتين ، والعالم الرياضى المعروف هيلبرت . ونشر فى عام ١٩١٧ كتابه " المكان والزمان فى الفيزياء المعاصرة " . كما نشر فى عام ١٩١٨ كتابه الهام " النظرية العامة للمعرفة " ولم يلبث أن ذاع صيته كفيلسوف علم ، مما أدى إلى تعيينه فى جامعة فيينا خلفاً لعمالقة العلم أمثال أرنست ماخ ، وبولتزمان ، فكان ذلك بداية لمولد الفلسفة الوضعية المنطقية . فقد احتشد حول هذا العالم ، الذى أصبح الآن فيلسوفاً محترفاً ، مجموعة من الفلاسفة والرياضيين . فكان على رأس الفلاسفة هيربرت فيجل Herbert Fiegl ، وفيكتور كرافت V. Kraft ، وفريدريك ويسمان F. Waismann . أما من كانوا على رأس الرياضيين فهم كورت جولد

K. Godel ، وهانز هان H. Hahn ، وكارل مينجر K. Menger . وبالإضافة إلى هؤلاء كان أتونيوراث Otto Neurath الذى اعتبر نفسه فيلسوفاً اجتماعياً ، من أبرز أعضاء المجموعة .

ثم انضم كارناب إلى الجماعة فى سنة ١٩٢٦ ، فكان لانضمامه هذا أكبر الأثر فى تطور نشاط الجماعة . وفى نفس الوقت تقريباً ، كانت قد تكونت جماعة مؤثرة أخرى ، التفت حول هانز ريشنباخ Hans Richenbach فى برلين . والتقت أهداف الجماعتين فى ازدرائهم للفلاسفة الذين يجهلون العلم ، ولا يتورعون فى إصدار الأحكام التى تتعلق بالمعرفة بصفة عامة ، والعلم بصفة خاصة . فبدأت الاتصالات بينهما ، وكان من نتيجة هذه الاتصالات العمل المشترك بين الجماعتين فى مؤتمر فلسفى خصص للبحث فى نظرية المعرفة المتصلة بالعلوم الدقيقة ، وكان ذلك فى سنة ١٩٣٠ .

وظلت جماعة فيينا تعقد اجتماعات متكررة فى السنوات من ١٩٢٢ إلى ١٩٢٩ ، خصصت معظمها للمناقشات الفلسفية . وكان لودفيج فتجنشتين L. Vittgenstein قد انتهى من كتابة مؤلفه الشهير رسالة منطقية ـ فلسفية Tractatus Logicophilosophicus فى سنة ١٩١٨ ، وهو عبارة عن عرض لفلسفة الذرية المنطقية Logicalk atomism التى تؤكد وجود بسائط تنحل إليها اللغة وتتكون منها العبارات المختلفة ، وأن ثمة علاقة بين هذه البسائط وبين وقائع العالم الخارجى ، وعلى الرغم من أن فتجنشتين كان يمكث بالقرب من فيينا بعد الحرب العالمية الأولى ، إلا أنه لم يلعب أى دور فى اجتماعيات جماعة فيينا ، بيد أن معظم أعضائها انتهزوا فرصة الاتصال به ، ودرسوا رسالته بعناية فائقة ، فقد كان لها تأثير قوى فى تشكيل الملامح الرئيسية لآراء ومعتقدات الوضعية المنطقية ، بل ان معظم أعمال كارناب فى الفترة من ١٩٢٦ إلى ١٩٣٤ ، كانت فى الحقيقة محاولة لجعل الذرية المنطقية فى توافق وانسجام مع الوضعية المنطقية .

وفى سنة ١٩٢٩ أطلقت جماعة فيينا على نفسها اسم " حلقة فيينا " وأصدرت منشوراً " مانيفستو " بعنوان " وجهة نظر علمية إلى العالم " " Scientific World View " ، تحدد فيه موقعها من المشكلات الفلسفية والمنطقية والرياضية والفيزيائية والاجتماعية ، وتبين فيه صلتها بالفلسفات المختلفة التى سبقتها أو التى تعاصرها . كما أوردت قائمة بأسماء الفلاسفة والمناطقة والعلماء الذين تعتبرهم الجماعة رواداً فى الوضعية أمثال هيوم وكونت ومل

وماخ ، وبيرسون وافيناريوس من الفلاسفة ، وهيلمهولتز وريمان وبوانكاريه وبولتزمان وا من العلماء أو فلاسفة العلم ، وليبنتز وبيانو وفريجه ورسل ووايتهد وفتجنشتين من المناطقه كما أوردت أسماء علماء رياضيات أمثال جوس ، وبيانو وهيلبرت ، وأسماء علماء اجتماع أمثال ابيقورس وبنتام وكونت وماركس وغيرهم ، ولم يلبث أن نظم أعضاء الجماعة المؤتمرات ، وأجروا الاتصالات مع الفلاسفة القريبين منهم فى الرأى فى بولندا وبريطانيا والولايات المتحدة ، وبـدأ كارناب وريشنباخ معاً فى إصدار مجلة باسم " المعرفة " " Erkenntis " فى سنة ١٩٣٠ ، كانت وسيلتهم الرئيسية فى نشر أفكارهم . كما ظهرت ابحاث جماعة فيينا الفلسفية سنة ١٩٣٤ فى سلسلة المنشورات فى وحدة العلم .

وفى سنة ١٩٣٦ ، فقدت الحركة دفعها الذاتى . فمن الناحية الفلسفية فقدت الحركة سيطرتها على مسرح الأحداث ، ومن الناحية العلمية فقدت عضواً بارزاً فيها هو هانز هان الذى توفى فى سنة ١٩٣٤ ، قبل سنتين من الفاجعة التى ألمت بالجماعة وهزتها هزاً عنيفاً بقتل مؤسسها وباعث حركتها موريتز شليك الذى قتله طالب معتوه كان قد تقدم بأطروحة فى علم الأخلاق ورفضها شليك ، بالإضافة إلى أن النظم الفاشية لدولفس Dolfuss وششنيج Schushnigg لم تكن تطيق نشاط الجماعة واتصالاتها ، فكانت تلاحق أعضاءها وتراقب نشاطهم فلم يلبث أن انفرط عقدهم ، فتوجه ويسمان إلى أكسفورد حيث توفى عام ١٩٥٩ ، وذهب نيورات أولاً إلى هولندا ، ثم استقر أخيراً فى الولايات المتحدة مع كل مـن جـودل ومينجز ، وفيجل ، وزعيم الحركة الأكبر رودلف كارناب .

والحقيقة أننا لا نكون مغالين إذا قلنا أن رودلف كارناب ( ١٨٩١ ـ ١٩٧٠ ) يعد من أهم شخصيات الوضعية المنطقية أو التجريبية المنطقية كما أرادوا أن يسموا فيما بعد . فهو يعتبر رائدها والمترجم الحقيقى لأهدافها ، كما أنه يعتبر زعيمها الذى حافظ على مبادئها ، وحاول وحده أن يحقق بتفصيل ، وبشكل متماسك ومتكامل مذهبها . وعلى الرغم من أن كارناب لا يعتبر المؤسس الحقيقى للوضعية المنطقية ، إلا أنه أصبح الصورة المعترف بها بصفة عامـة للحركة ، والأمين على أهدافها الرئيسية ، وأكثر شخصياتها أصالة وإبداعاً .

ولد كارناب فى سنة ١٨٩١ فى رونز دورف Rons - Dorf بالقرب من بارمن Barmen بألمانيا ، حيث تلقى تعليماً بورجوازياً فى صباه . وقد درس فى جامعتى فرايبورج وينا فى الفترة من ١٩١٠ إلى ١٩١٤ متخصصاً فى الفيزياء والرياضيات والفلسفة ، وقد تتلمذ فى ينا

على يد جوتلوب فريجه G. Frege الذى كان له أكبر الأثر هو وبرتراند رسل - فى تفكير كارناب . وفى إحدى رسائل كارناب تجد العلامات التاريخية التالية :

" عملت فى ألمانيا ، وبشكل كامل فى مزرعة صغيرة كانت ملكى حتى العام ١٩٢٦ . وكنت قد بدأت طريقى الفلسفى ، وتأثرت كثيراً بكل من رسل ، وأستاذى فريجه وانحصر هدفى فى ذلك الوقت فى تحليل المفاهيم العلمية مستعيناً فى ذلك بتطبيق المنطق الحديث ، من أجل تنقية المشكلات الفلسفية . ولم يكن يدور فى خلدى فى ذلك الوقت على الإطلاق العمل من أجل حركة فلسفية . فقد كانت منشوراتى المبكرة تتعلق بموضوعات فى أسس الفيزياء ، حيث كانت أطروحتى للدكتوراه بعنوان ( المكان : محاولة للاسهام فى نظرية العلم ) ، وبعض الكتابات الأخرى المتعلقة بالمنطق الرمزى ( مشدداً بصفة خاصة على تطبيقاته ) أما الشطر الأكبر من وقتى فى هذه الفترة المبكرة ، فقد خصصت لإنجاز كتابة مؤلفى ( البناء المنطقى للعالم ) Der Logische Aufbeu der Welt ، وفور انتهائى منه توجهت إلى فيينا عام ١٩٢٦ . ووجدت تأثيراً قوياً لفتجنشتين على حلقة فيينا ، فقد كان الجميع يبالغون فى تقديره . والحقيقة أنه قد أثر بعمق فى شليك وويسمان ، أما فيما يتعلق بى ، ونيورات ، فقد كان تأثيره أقل . وقد سبق لى القول بأننى مدين أكثر بكثير لرسل منه إلى فتجنشتين " .

والواقع أن انضمام كارناب إلى حلقة فيينا ، كان له أكبر الأثر فى نشر الدعوة الوضعية الجديدة . إذ بجانب النشاطات التى اضطلع بها مع زملائه الآخرين - والتى سبق أن أشرنا إليها من قبل - كان له إنتاج ضخم يكاد يستوعب كل فروع " المعرفة العلمية " واستمر هذا الإنتاج العلمى مستمراً حتى بعد انحسار نشاط الجماعة وانفراط عقدهم ، ونزوح كارناب إلى الولايات المتحدة فى ديسمبر من العام ١٩٣٥ . فقد قبل كارناب عرضاً تقدمت به جامعة شيكاغو لشغل منصب استاذ الفلسفة فى عام ١٩٣٦ ، وظل يقوم بالتدريس فيها حتى عام ١٩٥٢ . وقد أصدر أثناء وجوده فى شيكاغو بالاشتراك مع أوتونيورات - الذى استقر أخيراً فى أمريكا - وتشارلز موريس المنطقى الأمريكى الشهير ( الموسوعة الدولية للعلم الواحد ) ، ثم انصرف كارناب إلى دراسة علوم اللغة ، فكان له عدة مؤلفات هامة فى هذا الموضوع من أهمها " مقدمة فى علم المعانى " الذى ظهر لأول مرة عام ١٩٤٢ ، و " الصياغة الصورية للمنطق " عام ١٩٤٣ ، و" المعنى والضرورة " عام ١٩٤٣ . ثم تغير اهتمامه بعد ذلك تدريجياً تجاه مشكلات الاحتمال والاستقراء ، فأصدر مؤلفه الهام " الأسس المنطقية للاحتمال " يعارض فيه النظرية التكرارية للاحتمال عند كل من ميزس وريشنباخ . ثم قبل كارناب كرسى الفلسفة بجامعة

كاليفورنيا عام ١٩٥٤ ، الذى أصبح شاغراً بعد وفاة صديقه ريشنباخ ، وظل يقوم بالتدريس فيها حتى اعتزاله عام ١٩٦١ ، ثم توفى عام ١٩٧٠ .

وبعد عرضنا بشكل موجز لتاريخ الحركة عامة ، وحياة كارناب خاصة ، نعرض الآن أيضاً وبشكل موجز ، لأهم أهداف الحركة وعقائدها الرئيسية عامة ، وإسهام كارناب الأعظم فى إرساء هذه العقائد خاصة .

تعد الوضعية المنطقية نموذجاً متطوراً للمذهب التجريبى ، وقد اختار الوضعيون المناطقة المصطلح " منطقى " لكى يوضحون أنهم معنيون أساساً بالتحليل المنطقى أكثر من إعلانهم عن أطروحات تدور حول الحقيقة النهائية أو المطلقة ، أو اعطاء اعتبارات سيكولوجية لأصول أفكارنا وقوانين ترابطها ، وطبقاً لكارناب فإن وظيفة التحليل المنطقى هى تحليل كل المعرفة ، وكل تأكيدات العلم والحياة اليومية ، لكى توضح معنى كل تأكيد من هذ: التأكيدات والروابط التى تنشأ بينها ، أما مصطلح " الوضعية " فانه ينسب هذه الحركة إلى المذهب التجريبى التقليدى . والمسألة الرئيسية عند التجريبية التقليدية هى التأكيد على أن كل القضايا الهامة إنما تعتمد نظرياً على الإدراك الحسى Sense perception ، الذى يعتبر معياراً للوضوح النظرى . بيد أن هناك فئة من القضايا الصادقة ، ألا وهى قضايا المنطق والرياضيات ينظر إليه التجريبى بوصفها جديرة بالاعتبار ، ولكنهم أخفقوا فى إخضاعها وبطريقة معقولة إلى معيارهم الخاص بالوضوح النظرى . إذ أن نظرية مل التى تذهب إلى أن صدق المنطق والرياضيات إنما يرتكز تماماً وبشكل غير عادى على تعميمات استقرائية تأتى من التجربة الحسية ، لم تقنع معظم التجريبيين . لأن التعميمات الاستقرائية لا تتصف بالضرورة التى تبدو عليها القضايا المنطقية والرياضية . وكان المخرج من هذا المأزق الذى تعلق به الوضعيون المناطقة ، هو تبنى الأطروحة اللوجستيقية ( رد الرياضة إلى أصول منطقية ) وهى تلك الأطروحة التى حولها كتاب " مبادىء الرياضيات " Principia Methematica لكل من رسل وهوايتهد ، والتى تقرر أن الرياضيات يمكن اشتقاقها من المنطق ، وعزز من ذلك الموقف الإضافة التى أتى بها لودفيج فتجنشتين فى كتاب الرسالة ، والتى تذهب إلى أن الحقائق المنطقية ، إنما هى مجرد تحصيلات حاصل ، وكان ذلك لتجنب المضمون الواقعى للقضايا . والآن أصبح فى مقدور الوضعيين المناطقة أن يعلنوا أن كل القضايا النظرية الهامة تعتمد على الإدراك الحسى ، فيما عدا قضايا تحصيلات الحاصل التى تعد فارغة من المضمون الواقعى ، وهى تلك القضايا التى تستنفد بل والتى استنفدت بالفعل حقائق الرياضيات والمنطق جميعاً .

أما العقيدة الخاصة التي تدين بها الوضعية المنطقية فهي معيار تحقق المعنى الواقعي Veri- fiability criterion of factual meaning وطبقاً لمعيار التحقق هذا ، لا يتحدد المعنى الواقعي لعبارة ما إلا من خلال طريقة تحقق هذا المعنى . وبكلمات أخرى ، لكى نعرف ماذا تعنى جملة واقعية ، علينا أن نعرف ما هى الواقعة التى تدعمها ، وما هى الواقعة التى تخفق فى تدعيمها ، بشرط ألا يسمح بادعاء واقعه لا يمكن ملاحظتها عن طريق الحواس ، ويمكن للتحقق أن يتم بشكل مباشر ، وذلك فى حالة قولنا هذا المربع أزرق اللون ، أو بشكل غير مباشر وذلك فى حالة قولنا " تتكون الغازات من تجمع الجزيئات " بيد أن الفكرة المحورية فى معيار التحقق لا تعتبر اختراعاً خالصاً للوضعية المنطقية ، وإنما هى مفهوماً براجاتياً لمعنى الشىء المدرك قال به الفيلسوف الأمريكى تشارلز بيرس ، كما أنها تعد مذهباً اجرائياً Oper- stionalism قال به الفيزيائى الأشهر أينشتين قبل أن تأخذ به الوضعية المنطقية . أما المصطلح ذاته فهو من صياغة فيلسوف العلم بريدجمان Bridgman وعلى الرغم من أن مفهوم بيرس يسبق ما قال به أينشتين بحوالى خمسة وعشرون عاما ، إلا أن المذهبي الإجرائى لم يؤخذ به فى الفيزياء إلا بعد أن أدخله أينشتين فى نسيج نظريته فى النسبية . ولقد فعل أينشتين هذا عن طريق تعريفه لمفهوم التزامن ، ومن ثم نجد أن معيار الوضعى لمعنى " واقعى " قد ارتبط ارتباطاً وثيقاً بالمذهب البرجمانى ، والمذهب الإجرائى ، بيد أن الوضعيين ـ على خلاف أينشتين وبيرس ـ استخدموا هذا المعيار كسلاح رئيسى ضد كافة المذاهب والأفكار الميتافيزقية .

فقد جعل الوضعيون المناطقة معيار التحقق جزءاً لا يتجزأ من نظرية المعنى عندهم . ونظرية المعنى عندهم تفرق تفريقاً حاسماً بين ما يحمل معنى نظرى أو " معرفى " وبين الفارغ من المعنى النظرى أو الذى " يفتقر إلى المعنى المعرفى . وينقسم الخالى من المعنى النظرى إلى ثلاث فئات فرعية :

١ ـ الخلو من المعنى ( أى الكلام غير المفهوم كلية ) مثل الكلام الذى يتفوه به الطفل متظاهراً بالحديث .

٢ ـ أساليب الكلام التى تخل بقواعد السنتاكس Sentex ( أى قواعد بناء الجملة الصحيحة ) مثل عبارة وردت فى كتاب الفيلسوف الوجودى هيدجر " ما هى الميتافيزيقا " والتى تقرر أن " العدم يعدم نفسه " فهذه العبارة تخطىء مرتين . الأول هى أنها تستخدم فعل " يعدم " وهو فارغ من المعنى ، والثانى أنها تتعامل مع الكلمة " عدم " بوصفها اسما ، وهى

فى الحقيقة مشتقة من فعل .

٣ ـ التعبيرات " الانفعالية " ، ويدخل تحت المعنى " الانفعالى " كل الجمل الميتافيزيقية بالإضافة إلى الشعر والأخلاق المعيارية ، والدراسات الدينية .

أما الذى يتصف بالمعنى النظرى عندهم فهو ينقسم إلى قضايا تخضع إلى معيار التحقق من جهة ، وتحصيلات الحاصل ( أو نفيها ) من جهة أخرى . ولا يسمح بالصدق الضرورى فى النسق الوضعى إلا لتحصيلات الحاصل . فقد جعل الوضعيون ـ وهم تابعون فى ذلك لفتجنشتين ـ الضرورة فى تحصيلات الحاصل تنتمى إلى البنية الضرورية التى تتجنب المضمون الواقعى ، مثل " اما ق أو لا ق " فهى ذات صدق ضرورى ، لأن هذه الواقعة يمكن البرهنة عليها عن طريق الإحصاء الرياضى .

والحقيقة أن من أكثر أعمال كارناب أهمية وإثارة أثناء السنوات الأولى من تكوين الوضعية المنطقية هو المحاولة التى اضطلع بها لتكوين تصور للفلسفة يتسق مع اعتقادات الوضعية المنطقية . فقد انتهى فتجنشتين فى كتاب " الرسالة " إلى أن مهمة الفلسفة هى توضيح الأفكار ومبادىء العلوم من دون أن يكون لها الحق فى بناء الأفكار والمبادىء العلمية . ومن ثم فقد حصر فتجنشتين مهمة الفلسفة فى دائرة ضيقة جداً ، واكتفى بتحديدها فى التوضيح والتحليل من دون أن يكون لها واجب إضافة أية معرفة جديدة . فشرع كارناب فى بيان المهمة التى لا تزال الفلسفة تضطلع بها ، مؤكداً على أن هذه المهمة ليست بالتأكيد الميتافيزيقا ، ولا العلوم الطبيعية ، ولا المنطق الرياضى . وإنما مهمة الفلسفة هى تحليل مختصر على نمط الذرية المنطقية ، ولكنه يختلف عنها فى ناحيتين : الأولى هى أن الذريين يرون فى التحليل أن التزود بلغة " واضحة " تكافىء قضايا اللغة العادية بشرط أن يكون معناها وصدقها خاضعين للفهم من قبل الحس المشترك . وكان يعتقد أن المرادفات فى هذه اللغة " الموضحة " أرفع منزلة ، لأنها تصور الوقائع بشكل أكثر ملاءمة . فإذا اختزلت إلى المستوى الذرى النهائى ، لكانت صوراً مثالية للوقائع . فى حين رأى كارناب ، ومعه بقية حلقة فيينا أن هذه الطريقة للوصف وتبرير التحليل لا تنسق ووجهة نظر الوضعية المنطقية . إذ أن القضايا تتحدث عن علاقة اللغة بالواقعة التى كان يعتقد أنها لا تخضع للإثبات أو التحقق . والثانية ، هى أن الذريين يرون أن القضايا التى لا تنتمى إلى المنطق الصورى ، لا يكون لها معنى " معرفيا " ، فى حين يرى الوضعيون أن للفلسفة معنى " معرفى " . ولا يعنى هذا أن يكون لها معنى " امبيريقى " .

فالقضايا الفلسفية تتحدث عن العلاقات المنطقية ( السيمانطيقية ) وخواص التعبيرات اللغوية . ومن ثم تتماثل الفلسفة مع المنطق ( السيمانطيقا ) ، بحيث يتسع هذا المنطق ، وبشكل مناسب لتغطية سيمانطيقا لغة العلوم الواقعية ، بالإضافة إلى سيمانطيقا الرياضيات . وبهذه الطريقة يمكن للفلسفة أن تكون أكثر من مجرد منطق للرياضيات ، وهى فى نفس الوقت تظل الفلسفة مغايرة تماماً للعلوم الواقعية ، لأن العلوم الواقعية إنما هى بحث فى الطبيعة ، بينما الفلسفة بحث منطقى فى لغة العلوم الواقعية .

ولغة العلم ، كما يفسرها كارناب ، هى تلك الملاءمة نظرياً ، أعنى اللغة التى يمكن أن يقال فيها كل شىء قابل للقــول ، ويستبعدون من قضاياها اللغو ، أى كل ما ليس له معنى . ويرى الوضعى أن الهيكل المنطقى للغة المثالية نظرياً ، هو ذلك الهيكل الذى أتى به كتاب رسل وهويتهد " مبادىء الرياضيات " .

ولقد صرح كارناب بأنه يمكن تحديد صورة هذه اللغة عن طريق نوعين من القواعد : يشتمل النوع الأول على قواعد التكوين formation rules ، أى قواعد لتكوين قضايا اللغة ، ويشتمل النوع الثانى على قواعد التحويل trensformation rules أى قواعد لاشتقاق قضايا من قضايا . ويستنفد هذا النوعان من القواعد ، السيمانطيقا .

وعن طريق السيمانطيقا يمكن اخضاع قضايا الرياضيات البحتة أو العلوم الواقعية إلى التحليل المنطقى ، ومن ثم يقال أن للفلسفة مهمة نظرية دون أن نماثل بينها وبين العلوم الواقعية أو المنطق الرياضى . فهى لا تتماثل مع العلوم الواقعية كالفيزيقا مثلاً ، لأن الفيزياء فى الأساس نظام يتحدث عن الطبيعة ، بينما تتحدث الفلسفة عن لغة الفيزياء . ولا تتماثل الفلسفة أيضاً مع المنطق الرياضى ، لأن الفيزياء أغنى من الرياضيات البحتة .

ولكن لأن تطور العلم قد أدى إلى زيادة كبيرة فى قضايا وقوانين العلوم الواقعية ، فقد أصبح من مهمة التحليل المنطقى للمعرفة فهم الأسس والمبادىء التى تقوم عليها مفاهيم العلوم الواقعية . لذلك نجد كارناب ، وبعض أعضاء جماعة فيينا أمثال تيورات وشليك يقترحون مفهوماً جديداً لتفسير المعرفة العلمية ألا وهو مفهوم القضايا أو الجمــــل البروتوكوليــة Pretoccol - Sentance .

وحيث أن اللغة والواقع مرتبطان ارتباطاً وثيقاً ، وأن العلاقة بينهما يشار إليها فى قضايا

فلسفية . فقد استخدم كارناب التمييز بين المادي ـ الصوري فى اللغة البروتوكولية . ففى المظهر المادى تشير القضايا الأبسط فى اللغة البروتوكولية إلى الخبرة أو الظواهر المعطاة بوصف مباشر ، فهى الحالات الأبسط للمعرفة التى يمكننا أن نتلقاها . ويمكن لنفس الشىء أن يقال فى مظهر صورى ، فتصبح القضايا الأبسط فى اللغة البروتوكولية ، قضايا ليست فى حاجة إلى تبرير ، وإنما هى تستخدم بوصفها أساسا لجميع قضايا العلوم الأخرى .

والمعتقد الآخر الذى التفت حوله الوضعية المنطقية هو وحدة العلم Unity of Science ، ولهذا المعتقد جانبان : الأول هو أن جميع العلوم التجريبية مثل الفيزياء والكيمياء والأحياء وعلم النفس إنما تشترك فى مفردات واحدة ، حيث أن لغة الفيزياء مثلاً تكافىء مفردات لغة البروتوكول الفيزيائية ، ولكنها لا تتماثل مع لغة الفيزياء الجارية . لأن الفيزياء يمكن أن تتعدل ( فنظرية الكم التى تعد الآن " احتمالية " يمكن أن تصبح " حتمية " ) بينما تظل لغة البروتوكول الفيزيائية تحتفظ بالمضمون الواحد للمفردات العلمية الأساسية . ويعلن الجانب الثانى من برنامج وحدة العلم أن كل القوانين التى نجدها فى جميع العلوم التجريبية إنما يمكن اشتقاقها فرضاً من القوانين الفيزيائية . ولكن يظل هذا أملا افتراضيا ، يتحدد صدقه أو كذبه ـ كما يقول كارناب ـ بأن ننتظر حتى نرى كيف تتطور العلوم فى الواقع .

ومن أجل توضيح أطروحة المذهب الفيزيائى Physicalism هذا ، والبرهان على أن هذا الموقف يمكن تعقله مبدئياً ، يحاول كارناب تطبيقه على علم النفس . فنراه يقترح طريقة لتحويل قضية، سيكولوجية مثل " يعانى جون ألما " إلى قضية تدور حول حالات يمكن ملاحظتها لجسم جون ، ويتضمن هذا الأصوات التى تصدر عن جون . والحقيقة أن فكرة التحويل هذه تعد فكرة خصوصية ، لأن تحويل القضية لا يشترط التكافؤ المنطقى مع القضية المحولة ، ومن ثم فإن المذهب الفيزيائى عند كارناب لا يتطلب التكافؤ المنطقى للقضية " يعانى جون ألما " مع القضية " جسم جون فى الحالة س " يكفى أن يكون ثمة قانون فيزيائى يؤثر على شخص ما فيجعله يتألم ، إذا وفقط وإذا كان جسمه فى الحالة س " ومن وجوده فى الحالة س مع القانون ، يمكننا أن نستنبط كونه فى حالة ألم ، وبهذا المعنى تتحول القضيتان " يعانى جون ألما " و " جون فى الحالة س " كل منهما إلى الأخرى على الرغم من أنهما لا تتكافئان منطقياً ، ويستشهد كارناب بمعيار تحقق المعنى المعرفى لإقناعنا بإمكانية هذا التحويل من حيث المبدأ لأنه إذا استحال التحقق بشكل مباشر أو غير مباشر من قضية سيكولوجية مثل " يعانى جون ألما " فلا يمكن أن يكون لهذه القضية محتوى معرفى ، وبالتالى لا يمكن أن تنتمى هذه القضية إلى علم النفس .

هذه هى مجمل العقائد التى تدين بهما الوضعية المنطقية . ولا أريد أن أمضى أبعد مـن ذلك ، حتى أتجنب اللغة الفنية شديدة التعقيد التى طالما استخدمها الوضعيون المناطقة عامة وكارناب خاصة للتعبير عن تلك العقائد ، فأحقق بذلك رغبة كارناب الصادقة فى أن يجعل هذا الكتاب . دون بقية كتبه جميعاً ، فى متناول دائرة أوسع من القراء .

د. السيد نفادى

# مقدمة المؤلف

يعد هذا الكتاب حصيلة محاضرات ألقيتها لفترة من الزمن فى " ندوة علمية " وقد أدخلت عليها تعديلات شملت الشكل والمضمون . وكان عنوانها " الأســس الفلسفيــة للفيزيـــاء ": أو" المفاهيم والنظريات ومناهج البحث فى العلوم الفيزيائية " . ورغم ادخال بعض التغييرات على مضمون المحاضرات ، فإن وجهة النظر الفلسفية ظلت ثابته بوجه عام . إذ أكدت الدراسات أهمية التحليل للمفاهيم والقضايا ونظريات العلم ، أكثر من مجرد الوقوف على عند التأمل الفيزيقى .

ومارتن جاردنر M. Gardner هو صاحب فكرة تجميع مادة أحاديث " الندوة العلمية " فى كتاب . وقد كان مواظباً على حضور دراساتى سنة ١٩٤٦ فى جامعة شيكاغو . وفى سنة ١٩٥٨ سألنى عما إذا كان الأصل الخطى " للندوة العلمية " فى حوزتى ، أو عن إمكانية كتابتها ، وقد عرض فى حالة وجودها ، أن يقوم بإعدادها للنشر . ولم تكن لدى على الإطلاق رغبة فى انتهاز الفرصة لكتابة واحدة منها . وقد حدث أن هذه الدراسات قد تم نشرها كمقرر لنصف العام الدراسى التالى وكان خريف سنة ١٩٥٨ فى جامعة كاليفورنيا بلوس أنجيلوس . واقترح أن تكون أحاديثى ومنقاشاتى مسجلة . ولأننى أعى تماماً التفاوت الكبير بين الكلمة المنطوقة والصياغة المناسبة للنشر فقد كنت فى البداية متشككاً إلى حد ما من نجاح هذه الخطة بيد أن أصدقائى حثونى على المضى قدماً فى هذا ، لأن العديد من وجهات نظرى حول المشكلات فى فلسفة العلم قد لا تتاح لها فرصة النشر على الإطلاق . وأخيراً ، جاءنى التشجيع الحاسم من زوجتى التى تطوعت بالفعل لتسجيل هذه الأحاديث والمناقشات ، والقيام بنسخها حرفياً ، وفى المراحل الأخيرة من هذا العمل ، قدمت لى يد المساعدة التى لا يمكن تقديرها . إذ أن هذا الكتاب يدين لها بالكثير ولكن لم يمتد بها العمر لتراه منشوراً .

ولقد أرسلت نسخة منقولة ومصححة لمارتن جاردنر ، وحينئذ بدأ مهمته السميه التى أنجزها بمهارة وحساسية منقطعة النظير . إذ أنه لم يجعل الأسلوب أبسط فحسب ، وإنما ابتدع طرقاً جديدة لجعل القراءة أسهل بكثير ، وذلك عن طريق إعادة تبويب بعض الموضوعات ، وتحسين

الأمثلة أو الإسهام فى ذكر أمثلة جديدة . ولقد كتبت الفصول هذه عدة مرات ، وبين تارة وأخرى أقوم بإجراء تعديلات شاملة أو إضافات أواقتراحات سبق لجاردنر الإدلاء بها . وعلى الرغم من أن " الندوة العلمية " كانت معدة لطلاب جامعة تخرجوا فى الفلسفة ولديهم الفة بالمنطق الرمزى ، وكذلك ببعض المعرفة الجامعية بالرياضيات والفيزياء إلا أننى قررت أن أجعل الكتاب فى متناول فهم دائرة أوسع من القراء . ومن أجل هذا تم اختزال عدد كبير من الصياغات المنطقية والرياضية والفيزيائية .

ولم تبذل محاولة فى هذا الكتاب لتقديم معالجة نسقية لكل المشكلات الهامه فى الأسس الفلسفية للفيزياء . ففى " الندوة العلمية " ـ وأيضا فى الكتاب فضلت أن أحصر نفسى فى عدد محدود من المشكلات الرئيسية ( كما هو موضح من عناوين الأبواب الستة ) وأن أطرحها للمناقشة بدقة أكثر ، بدلاً من الانزلاق فى مناقشة سطحية لموضوع أوسع . وتتعلق معظم الموضوعات التى عالجتها فى هذا الكتاب ( عدا الباب الثالث فى الهندسة ، والفصل الثلاثين فى فيزياء الكم ) بكل فروع العلم بما فى ذلك العلوم البيولوجية والسيكولوجية والعلوم الاجتماعية ، لذلك فاننى اعتقد أن هذا الكتاب يصلح أيضاً كمدخل عام فى فلسفة العلم .

ويطيب لى أن أتوجه بخالص شكرى إلى زميلى وشريكى فى هذا العمل مارتن جاردنر على إخلاصه واقتداره ، كما أقدم له امتنانى لعمله الممتاز وأيضاً لدأبه الذى لم ينفد عندما توانيت طويلاً فى إعادة بعض الفصول أو طلبت إجراء تعديلات كثيرة .

كما أننى أتوجه بالشكر إلى صديقى هربرت فايج Herbert Feigel وكارل . ج ، همبل K. G. Hembel للأفكار الموحية التى قدماها فى محادثات استمرت لعدة سنوات ، وبصفة خاصة للتعليقات الممتازة على اجزاء من المخطوطة . كما أشكر ابترشيمونى K. Shimony للملاحظات المتخصصة التى أبداها فى المسائل المتعلقة بميكانيكا الكم ، وفضلاً عن ذلك فإننى ممتن للعديد من الأصدقاء والزملاء لمساعدتهم القيمة فى إخراج هذا العمل . وإلى طلابى الذين واظبوا على نقل واحدة أو أكثر من خطابات هذه " الندوة العلمية " ، وإلى الذين ألهمت أسئلتهم وتعليقاتهم بعضاً من المناقشات التى دارت فى هذا الكتاب .

واتقدم بالشكر الخالص لدار نشر جامعة بيل على تكرمها بالموافقة على الاقتباسات الشاملة من كتاب كورت ريزلر Kurt Reziler " الفيزياء والواقع " الذى صدر فى سنة ١٩٤٠ .

فبراير ١٩٦٦ .

**رودلف كارناب**

جامعة كاليفورنيا بلوس أنجيلوس

□ القسم الأول □

# القوانين والتفسير والاحتمال

## الفصل الأول

# قيمة القوانين: التفسير والتنبؤ

تكشف لنا المشاهدات التى نصادفها فى الحياة اليومية وأيضاً فى المشاهدات الأكثر انتظاماً فى العلم، عن تكرارات أو انتظامات فى العالم. فالنهار يتبع الليل دائماً، وتتعاقب الفصول بنفس النظام، والنار تحرق دائماً وتتساقط الأشياء عندما نتركها، وهكذا. والقوانين العلمية ما هى إلا تقريرات تعبر عن هذه الانتظامات بأكبر دقة ممكنة.

فإذا لاحظنا انتظاماً معيناً فى كل زمان ومكان بلا استثناء، إذن لأصبح مثل هذا الانتظام معبراً عنه فى شكل قانون كلى. إليك مثالاً من الحياة اليومية، " كل الثلج بارد "، تؤكد هذه القضية أن أى قطعة ثلج فى أى مكان من العالم وأى زمان، فى الماضى أو الحاضر أو المستقبل ( كانت أو ستكون ) باردة. وليست قوانين العلم كلها كلية. فبدلاً من التأكيد على أن ثمة انتظاماً يحدث فى كل الحالات، تؤكد بعض القوانين على أنه يحدث فقط فى نسبة مئوية من الحالات. ولو قمت بتحديد النسبة المئوية، أو بالأحرى، لو أضفيت تقريراً كمياً على العلاقة بين حدث وآخر، إذن لأطلق على هذا التقرير اسم " قانون إحصائى " مثال ذلك التفاح الناضج عادة أحمر أو نصف الأطفال المولودين كل عام ذكور تقريباً ". والعلم فى حاجة إلى كل من هذين النسقين للقانون. القوانين الكلية أبسط منطقياً، ولهذا السبب سنضعها فى اعتبارنا أولاً. وفى هذه الحالة المتقدمة من المناقشة، تجدر الإشارة إلى أن ما نعنيه عادة " بالقوانين " إنما هو القوانين الكلية.

يتم التعبير عن القوانين الكلية بالصورة المنطقية التى تسمى فى المنطق الصورى " بالقضية الشرطية الكلية ". ( ومن حين لآخر فإننى سوف استخدم فى هذا الكتاب المنطق الرمزى ولكن فقط بصورة أولية جداً ). دعنا نفترض على سبيل المثال قانوناً من أبسط النماذج الممكنة، ألا وهو القانون الذى يؤكد على أنه إذا كانت هناك و، وكانت و هى ق إذن لكانت و هى ك أيضاً، ويكتب هذا القانون رمزياً على النحو التالى:

( و ) ( ق و ⊂ ك و )

يطلق على الرمز ( و ) الذى على اليمين اسم " السور الكلى " فهو يخبرنا أن القضية تشير إلى كل الحالات أكثر من كونها نسبة مئوية معينة من الحالات ، تبين " ك و " أن و هى ك . أما الرمز " ⊂ " (١) إنما هو أداة ربط . فهو يربط الحد الذى على يمينه بالحد الذى على يساره . وهو يطابق فى الإنجليزية التقرير " إذا ... إذن ... " .

فإذا رمز لأى جسم مادي بالرمز ( و ) ، إذن لذكر القانون أنه ، بالنسبة لأى جسم مادى و ، إذا كانت لـ و الخاصية ق ، إذن لكان له أيضاً الخاصية ك . ونقول فى الفيزياء على سبيل المثال : " بالنسبة لأى جسم ، إذا تم تسخين ذلك الجسم ، إذن لتمدد الجسم " وهذا القانون هو قانون التمدد الحرارى فى صورته الأبسط ، والذى تمت صياغته بصورة غير كمية . وبالطبع فى نطاق الفيزياء ، يحاول العالم أن يصوغ القانون بطريقة كمية لكى يضفى عليه من الصفات التى تؤهله إلى استبعاد الاستثناءات . ولكن إذا تغاضينا عن مثل هذه التدقيقات ، لكانت هذه القضية قضية شرطية كلية ، وهى الصورة المنطقية الأساسية لكل القوانين الكلية . نقول فى بعض الأحيان ، أن ك و لا تنعقد وحدها عندما تنعقد ق و ، ولكن العكس صحيح أيضاً ، عندما تنعقد ك و وأيضاً ق و . يطلق المناطقة على هذه القضية اسم القضية الشرطية المزدوجة ـ وهى تلك القضية التى تكون شرطية فى كل من اتجاهيها . ولكن هذا لا يتعارض بالطبع مع حقيقة أننا نتعامل فى القوانين الكلية لها ، مع شرطيات كلية ، لأن القضية الشرطية المزدوجة ما هى إلا قضيتان شرطيتان موصولتان .

ليست كل القضايا التى يصوغها العلماء لها مثل هذه الصورة المنطقية ، قد يقول عالم : " اكتشف الأستاذ سميث فى البرازيل أمس أنواعاً جديدة من الفراشات . " فهذه القضية ليست قانوناً ، وإنما تتحدث عن زمان ومكان معينين ، وتقرر أن شيئاً ما حدث فى ذلك الزمان والمكان . فمثل هذه القضايا إنما تتحدث عن وقائع مفردة ، ويطلقون عليها اسم " القضايا المفردة " وبالطبع فإن جميع معارفنا فى الأصل قضايا مفردة ، ملاحظات فردية ، لأشخاص فرادى . والحقيقة أن إحدى المسائل الكبرى المحيرة فى فلسفة العلم هى كيف يمكننا المضى فى مثل هذه القضايا المفردة إلى إثبات القوانين العلمية . وعلينا أن نتوخى الحذر جداً ، عندما يصوغ العلماء القضايا بلغة الكلمات العادية بدلاً من لغة المنطق الرمزى الأكثر دقة ، وذلك حتى لا نخلط بين القضايا المفردة والقضايا الكلية . إذا كتب عالم نبات فى كتاب مدرسى أن

" الفيل سباح ممتاز " فهو لا يعنى أن هناك فيلاً معيناً ، شاهده منذ عام فى حديقة الحيوان ، وأنه سباح ممتاز ، وإنما عندما يذكر " الفيل " فهو يستخدم أداة التعريف " ال " بالمعنى الأرسطى . فهو يشيرُ إلى الفئة الكلية للفيلة .

ولقد ورثت جميع اللغات الأوربية هذه الصيغة فى الحديث ، من اليونانيين ( وربما من لغات أخرى أيضاً ) وهى الصيغة المفردة فئة ( فصل ) أو جنس . عندما قال اليونانيون " الإنسان حيوان عاقل " كانوا يعنون بالطبع الإنسان كله وليس إنساناً معيناً ، وبنفس الطريقة نقول " الفيل " عندما نعنى بذلك الفيلة كلها ، أو نقول " يتميز التدرن بالأعراض التالية ... " عندما لا نشير بذلك إلى حالة مفردة للتدرن ، وإنما إلى كل الحالات ، ولسوء الحظ نجد أن المسئول عن هذا الغموض ، إنما هو لغتنا ، لأنها مصدر للكثير من سوء الفهم . وغالباً ما يشيرالعلماء إلى قضايا كلية ـ أو على الأقل إلى ما هو معبر عنه بمثل هذه القضايا ـ باعتبارها " حقائق " ، متناسين أن كلمة " حقيقة " إنما كانت منطبقة فى الأصـل ( وسوف نقتصر فى تطبيقها على هذا المعنى ) على المفرد ، على الوقائع الجزئية ، إذا سألنا عالم عن قانون التمدد الحرارى ، وربما أجاب " أوه ، التمدد الحرارى . إنه واحد من الحقائق الأساسية المألوفة فى الفيزياء " . ربما يتحدث بطريقة مماثلة عن حقيقة أن الحرارة تتولد من تيار كهربى ، وحقيقة أن المغناطيسية تنتج من الكهربية وهلم جرا . وفى بعض الأحيان يعتبر أن هذه " الوقائع " مألوفة للفيزياء . وحتى نتجنب سوء الفهم ، نفضل ألا نطلق على مثل هذه القضايا ( وقائع ) فالوقائع إنما هى أحداث جزئية . " قمت هذا الصباح بتوصيل تيار كهربى فى المعمل ، وذلك من خلال سلك موصل للتيار إلى جسم من الحديد ، ووجدت أن جسم الحديد أصبح ممغنطاً" تلك واقعة ، إذا لم أكن قد خدعت نفسى بطريقة ما . ومع ذلك إذا كنت واعياً وإذا لم تكن الحجرة شديدة الظلام ، وإذا لم يقم أحد الأشخاص بلحام الجهاز بالقصدير بطريقة خفية بغرض السخرية منى ، إذن لأمكننى أن أقرر طبقاً للملاحظة الفعلية أنه فى هذا الصباح تمت الأحداث السالفة بالتتابع .

عندما نستخدم كلمة واقعة " سنعنى بها المعنى الجزئى ، حتى نميزها بوضوح عن القضايا الكلية . سنطلق على مثل هذه القضايا الكلية اسم " قوانين " حتى عندما تكون هذه القضايا أولية مثل قانون التمدد الحرارى أو أكثر أولية مثل القضية " كل الغربان سوداء " لا أعرف إذا كانت هذه القضية صادقة أو لا ، لكننى سأفترض صدقها ـ وسأعتبرها قانوناً فى علم الحيوان . وربما تحدث عالم حيوان عن أمثال هذه القضايا مثل " الغراب أسود " أو " للأخطبوط ثمانى أذرع " باعتبارها " حقائق " ولكن فى إصطلاحنا الأكثر دقة سنعتبر هذه القضايا قوانين .

سنقوم أخيراً بالتمييز بين نوعين من القوانين ـ أمبيريقية ( تجريبية ) ، ونظرية . تعد القوانين التى ذكرتها فى الحال ، من النوع البسيط الذى يسمى عادة " تعميمات امبيريقية " أو " قوانين امبيريقية " ، وهى بسيطة لأنها تتكلم عن خواص مثل اللون الأسود أو الخواص المغناطيسية لقطعة حديد ، وهى تلك الخواص التى يمكن أن نلاحظها بشكل مباشر . وقانون التمدد الحرارى ، على سبيل المثال تعميم مبنى على عدة ملاحظات مباشرة لأجسام تتمدد بالتسخين . وعلى العكس من ذلك القوانين النظرية مفاهيم غير قابلة للملاحظة كالجسيمات الأولية والمجالات الكهرومغناطيسية التى ينبغى التعامل معها بالقوانين النظرية . سنناقش كل هذا فيما بعد . ولكننى أذكرها هنا خشية أن تعتقد أن الأمثلة التى سقتها لم تغط نوعى القوانين التى ربما تكون قد تعلمتها فى الفيزياء النظرية .

وخلاصة القول ، يبدأ العلم بملاحظات مباشرة لوقائع مفردة ، ولا شىء آخر يمكن ملاحظته ، بالتأكيد لا يمكن ملاحظة الانتظام بشكل مباشر ، وإنما يتم اكتشاف الانتظامات عندما نقوم بمقارنة العديد من الملاحظات الواحدة بالأخرى . يتم التعبير عن مثل هذه الانتظامات بقضايا تسمى " قوانين " .

ما الفائدة التى تعود علينا من هذه القوانين ؟ وما هى الأغراض التى يستفاد منها سواء فى العلم أو الحياة اليومية ؟ الإجابة هنا مزدوجة . إنها تستخدم لتفسير الوقائع التى تمت معرفتها ، كما تستخدم للتنبؤ بالوقائع التى لم تعرف بعد .

دعنا نرى أولاً كيف تستخدم قوانين العلم للتفسير . لا يمكن أن يكون ثمة تفسير دون الإشارة إلى قانون واحد على الأقل ( تستخدم فى الحالات البسيطة قانون واحد فقط ، لكن الحالات الأكثر تعقيداً فإنها تشتمل على مجموعة من القوانين ) . ومن المهم التأكيد على هذه النقطة . لأن الفلاسفة قد أصروا على أن فى إمكانهم تفسير وقائع معينة فى التاريخ أو الطبيعة أو الحياة الإنسانية بطريقة مختلفة إلى حد ما . وهم يفعلون ذلك عادة عن طريق تخصيص نمط ما لعامل أو قوة يكون مسئولاً بشكل أو بآخر عن الحادث الخاضع للتفسير .

وهناك بالطبع ، فى الحياة اليومية شكل مألوف للتفسير ، يسأل شخص ما : " أين ساعتى التى تركتها على المنضدة قبل أن أغادر الغرفة ، ولم تعد موجودة هنا ؟ " وتجيب ؟ " أننى رأيت جون يدخل الغرفة ويأخذها " . هذا هو تفسيرك لاختفاء الساعة . وربما لا يُعد هذا تفسيرا

كافيا . لماذا أخذ جون الساعة ؟ هل فى نيته سرقتها أم مجرد استعارتها ؟ ربما أخذها وهو يعتقد اعتقاداً خاطئاً أنها ملكه . أجيب عن السؤال الأول " ماذا حدث للساعة ؟ " بقضية تعبر عن واقعة : جون أخذها . ويمكن الإجابة عن السؤال الثانى " لماذا أخذها جون ؟ : بواقعة أخرى : استعارها للحظة : ولذلك يبدو أننا لسنا فى حاجة إلى قوانين على الإطلاق ـ إننا نسأل لتفسير واقعة ، وحصلنا على واقعة ثانية . إننا نسأل لتفسير واقعة ثانية وحصلنا على ثالثة . المطالبة بتفسيرات أبعد تمكننا من اكتشاف وقائع أخرى . لماذا اذن يصبح من الضرورى أن نستشهد بقانون لكى نحصل على تفسير مناسب لواقعة ما ؟ .

الإجابة هى أن تفسيرات الواقعة إنما هى فى الحقيقة تفسيرات قوانين بشكل آخر . وعندما نفحصها بعناية أكثر ، نجد أنها قضايا مختصرة غير مكتملة تفترض ضمناً قوانين معينة ، ولكنها قوانين مألوفة لذلك فهى ضرورية للتعبير عنها . فى المثال التوضيحى المتعلق بالساعة ، لم تكن الإجابة الأولى " أخذها جون " بتفسير مرض ، لو لم نفترض قانوناً كلياً : عندما يأخذ شخص ما ساعة من على منضدة ، فإن الساعة لن تكون حينئذ على المنضدة . الإجابة الثانية " استعارها جون " تفسيرية ، لأننا سلمنا جدلاً بالقانون العالم : إذا استعار شخص ما ساعة ليستخدمها فى مكان ما ، إنما هو قد أخذ الساعة وحملها بعيداً .

تأمل مثلاً آخر . نسأل تومى الصغير لماذا هو يبكى ، ويجيب بواقعة أخرى " ضربنى جيمى على أنفى " . لماذا نعتبر هذا تفسيراً كافياً ؟ لأننا نعرف أن الضرب على الأنف يسبب ألماً ، وأن الأطفال يبكون عندما يشعرون بألم . هذه قوانين سيكلوجية عامة ، وهى معروفة جيداً ، حتى أن تومى افترضها عندما أخبرنا عن سبب بكائه . لو كنا نتعامل مع طفل مريخى ( ساكن المريخ ) وكنا نعرف القليل جداً عن القوانين السيكولوجية المريخية ، إذن لما أمكن لقضية بسيطة عن واقعة أن تعتبر تفسيراً مناسباً لسلوك الطفل . فإذا لم ترتبط الوقائع بوقائع أخرى عن طريق قانون واحد على الأقل ، ويذكر بوضوح أو يفهم بالاستنتاج ، إذن لما أمدتنا هذه الوقائع بتفسيرات .

يتضمن النسق العام فى كل تفسير ، ما يمكن التعبير عنه بالصيغة الرمزية التالية :

١ ـ ( و ) ( ق و ⊃ ك و )

٢ ـ ق أ .

٣ ـ ك أ .

القضية الأولى قانون كلى ، ينطبق على أى موضوع و . تؤكد القضية الثانية أن موضوعاً معيناً أ له الخاصية ق . لو قمنا بضم هاتين القضيتين معاً ، لأمكننا أن نستنتج منطقياً القضية الثالثة : للموضوع أ الخاصية ك .

فى العلم كما فى الحياة اليومية لا يتم ذكر القانون الكلى بوضوح دائماً . لو أنك سألت عالم فيزياء : " لماذا أصبح هذا القضيب الحديدى ـ الذى كان منذ لحظة مناسباً تماما للدخول فى هذا الجهاز ـ أصبح الآن أطول قليلاً بحيث لم يعد مناسباً للدخول ؟ " ربما أجابك بقوله " عندما كنت خارج الغرفة قمت بتسخين القضيب "إنه يفترض بالطبع أنك تعرف قانون التمدد الحرارى ، وإلا لكان أضاف إلى هذا قوله : " وعندما يسخن جسم ، فإنه يتمدد " . لكى يجعلك تفهم من الضرورى تفسير القانون العام . فإذا كنت تعرف القانون ، ويعرف هو أنك تعرفه ، لما شعر بالحاجة إلى ذكر القانون . ولهذا السبب ، غالباً ما تبدو التفسيرات ـ وخصوصاً فى الحياة اليومية حيث نسلم جدلاً بقوانين الحس المشترك ـ تبدو مختلفة تماماً عن المنهج الـذى قمت بوضعه . وفى حالة إعطاء تفسير ، أحياناً ما تكون القوانين المعروفة فقط هى التى تنطبق بطريقة احصائية أكثر من كونها تنطبق بطريقة كلية . ينبغى فى مثل هذه الحالات أن نقنع بتفسير احصائى . لعلنا نعرف على سبيل المثال أن هناك نوعاً معيناً من عش الغراب (٢) سام قليلاً ، ويسبب أعراضاً معينة من المرض فى تسعين فى المائة ممن يأكلونه . لو اكتشف طبيب هذه الأعراض عند فحصه لمريض ، وأبلغه أنه تناول فى اليوم السابق هذا النوع المعين من عش الغراب ، إذن لاعتبر المريض أن هذا إنما هو تفسير للأعراض ، حتى إذا اشتمل الفانون على حالة احصائية واحدة فقط ، فهذا تفسير حقاً .

وحتى إذا أتى قانون إحصائى بتفسير ضعيف جداً ، فإنه يظل مع ذلك تفسيراً . يمكن أن يقرر مثلاً قانون طبى إحصائى أن خمسة بالمائة من الناس الذين يتناولون نوعا معيناً من الطعام يصابون بمرض معين . ولو ذكر الطبيب ذلك للمريض على اعتبار أنه تفسير لحالته . لما اقتنع المريض ولقام بسؤاله " ولماذا أكون أنا الوحيد ضمن الخمسة بالمائة ؟ " ربما يكون الطبيب قادراً فى بعض الحالات على طرح تفسيرات إضافية ، وربما يقوم باختبار حساسية المريض لبعض الأطعمة ، ويجد عنده فرط حساسية من هذا النوع من الطعام . ويخبر المريض : " لو أننى عرفت هذا لكنت حذرتك من هذا الطعام ـ فإننا نعلم أن الناس الذين عندهم مثل هـــذه الحساسية ، ويتناولون هذا الطعام ، يظهر عند ٩٧ بالمائة منهم مثل هذه الأعراض التى عندك . يرضى هذا القول المريض على اعتبار أنه تفسير قوى . وسواء أكانت التفسيرات قويـة أو

ضعيفة ، فهى تفسيرات حقيقية ، وفى حالة عدم معرفة القوانين الكلية تصبح التفسيرات الاحصائية غالباً هى التفسيرات الوحيدة النافعة .

وفى المثال الذى قمنا بسوقه ، تعد القوانين الاحصائية أفضل ما يمكن ذكره ، لأنه ليس لدينا معرفة طبية كافية لضمان ذكر قانون كلى . وهناك جهل مشابه ينشأ عن القوانين الاحصائية كما هو فى الاقتصاد وبعض المجالات الأخرى للعلوم الاجتماعية . فالمعرفة المحدودة بالقوانين السيكولوجية مثلاً ، أساس تلك القوانين وكيف أنها تعتمد فى النهاية على القوانين الفيزيائية يجعل من الضرورى أن تقوم بصياغة قوانين العلوم الاجتماعية فى حدود احصائية . وإذا كنا نقابل فى نظرية الكم قوانين احصائية ، فلا ينبغى أن يكون ذلك نتيجة لجهلنا . فهى تعبر عن البنية الأساسية للعالم . ويعد مبدأ اللا تعيين المشهور لهيزنبرج (٣) Heisenberg من أفضل الأمثلة المعروفة فى هذا الصدد . يعتقد العديد من الفيزيائيين أن كل قوانين الفيزياء تعتمد إلى حد كبير على قوانين أساسية ، وهى مع ذلك قوانين احصائية . إذا كان الحال هكذا ، فعلينا أن نقنع بالتفسيرات التى تقوم على قوانين احصائية .

وماذا عن قوانين المنطق الأولية التى تشتمل على كل التفسيرات ؟ هل تصلح على الدوام ، باعتبارها قوانين كلية ، أن يعتمد عليها فى التفسير العلمى ؟ كلا ، لا تصلح . والسبب فى ذلك أنها قوانين من نوع مختلف تماماً . صحيح أن قوانين المنطق والرياضيات البحتة ( ولا تدخل الهندسة الفيزيائية فى ذلك ، لأنها شىء ما غير ذلك ) كلية إذ أنها لا تخبرنا بشىء عن العالم . إنها تذكر فقط علاقات تنشأ بين تصورات معينة . ليس لأن العالم له البناء كذا وكذا ، ولكن فقط لأن التصورات هذه يتم تعريفها بوسائل معينة .

وإليك مثالين لقوانين منطقية بسيطة :

١ ـ إذا كانت ق ، ك ، إذن تكون ق .

٢ ـ إذا كانت ق ، إذن تكون ق أو ك .

لا يمكن أن تتعارض هاتان القضيتان لأن صدقهما قائم على معانى الحدود المشتملة عليهما . يقرر القانون الأول ، أنه إذا افترضنا فقط صدق القضيتين ق و ك ، لكان علينا أن نفترض صدق القضية ق . يأتى القانون من الطريقة التى استخدمنا بها " و " " ز " " إذن " . يؤكد القانون الثانى على أننا إذا افترضنا صدق القضية ق لكان علينا أن نفترض أما أن تكون ق أو ك صادقة ، وإذا ذكرنا ذلك فى كلمات لجعلنا القانون غامضاً ، لأن الكلمة " أو " فى

اللغة الإنجليزية لا تميز بين معنى شامل ( أما أو كل من ) ( either or both ) ومعنى غير شامل ( إما ولكن ليس كل من ) ( either but not both ) . وإذا أردنا أن نجعل القانون مصاغاً بشكل محكم ، لقمنا بالتعبير عنه رمزياً على النحو التالى :

ق ⊃ ( ق V ك ) .

حيث أننا نفهم ( V ) بالمعنى الشامل لكلمة " أو " ويمكن لهذا المعنى أن يصبح أكثر صورية . وذلك بأن تقوم بعمل جدول لحالات صدقه . ونتمكن من عمل ذلك عن طريق بيان كل التركيبات الممكنة لقيم الصدق ( الصدق أو الكذب ) للحدين المرتبطين بالرمز ، وعندئذ نحدد أى التركيبات التى يسمح بها الرمز وأيها الذى لا يسمح .

والتركيبات الأربعة الممكنة للقيم هى :

| | ق | ك |
|---|---|---|
| ١ ـ | صادقة | صادقة |
| ٢ ـ | صادقة | كاذبة |
| ٣ ـ | كاذبة | صادقة |
| ٤ ـ | كاذبة | كاذبة |

الرمز " V " محدود بالقاعدة التى تقول أن " ق V ك " صادقة فى الحالات الثلاث الأولى وكاذبة فى الحالة الرابعة . والرمز " ⊃ " الذى يترجم فى اللغة الإنجليزية بشكـل تقريبـى بـ " إذا .. إذن " يمكن تعريفه بدقة إذا قلنا أنه يصدق فى الحالة الأولى ، والثالثة ، والرابعة ، ويكذب فى الحالة الثانية ، فهمنا من قبل ، التعريف بكل حد فى القانون المنطقى ، ورأينا بوضوح أنه ينبغى على القانون أن يكون صادقاً بنوع ما ، لأنه مستقل عن طبيعة العالم ، فهو ضرورى الصدق ، ويسرى صدقه ـ كما يقول الفلاسفة فى بعض الأحيان ـ على كل العوالم الممكنة .

هذا هو صدق المنطق ، أما صدق القوانين الرياضية ، فإننا نحصل عليه عندما نحدد بدقة معانى " ١ " و " ٣ " و " ٤ " و " + " و " = " فإن صدق القانون ١ + ٣ = ٤ يستتبع مباشرة من هذه المعانى . ونصادف هذه الحالة فى الرياضيات البحتة ، حتى فى أكثر المسائل تجريداً . تسمى البنية " مجموعة " إذا حققت على سبيل المثال بديهيات معينة تعرف المجموعة . يمكن أن

يعرف المكان الأقليدى ذى الثلاثة أبعاد جبرياً ، باعتباره مجموعة من المضاعفات الثلاثية المنتظمة لأعداد حقيقية . يتحقق ذلك فى شروط أساسية معينة . ولكن كل هذا لا يعنى شيئاً بالنسبة إلى طبيعة العالم الخارجى . فليس ثمة عالم ممكن لا تنعقد فيه قوانين المجموعة النظرية ، ولا الهندسة المجردة ذات الأبعاد الأقليدية الثلاثة . لأن هذه القوانين تعتمد فقط على معانى الحدود المتضمنة فيها ، وليس على بناء العالم الواقعى الذى قد يتصادف وأن نراها متحققة فيه .

العالم الواقعى هو ذلك العالم الذى يتغير باستمرار . فنحن على يقين أن أكثر القوانين أساسية فى الفيزياء تختلف قليلاً من قرن إلى آخر . ولكن مثل هذه التغيرات لا يمكنها أن تحطم أبداً صدق قانون منطقى أو حسابى واحد ، مهما كانت درجة تأثيرها .

هناك أصوات تبدو درامية إلى حد بعيد ، وربما يشوبها نوع من المواساة ، تعلن : ها نحن قد وجدنا اليقين الأخير . صحيح أننا قد توصلنا إلى اليقين ، ولكن من أجل هذا دفعنا ثمناً غالياً جداً ، الثمن هو أن قضايا المنطق والرياضيات لا تخبرنا بأى شىء عن العالم ، يمكننا أن نتيقن بالطبع أن ثلاثة زائد واحد يساوى أربعة ، لأن هذا يتحقق فى أى عالم ممكن ، فهو لا يخبرنا بأى شىء عن العالم الذى نحيا فيه .

ما الذى نعنيه " بعالم ممكن " ؟ إنه ببساطة العالم الذى يمكن وصفه دون وقوع فى تناقض . قد يكون عالم الحوريات ، أو حتى أكثر العوالم خيالية ، بشرط أن يتم وصفها فى حدود منطقية متماسكة . يمكنك مثلاً أن تقول : " احتفظ فى عقلى بعالم يدور فيه ألف حادث تماماً ، لا أكثر ولا أقل . يظهر فى الأول مثلث أحمر وفى الثانى مربع أخضر ، ومع ذلك ، لأن الحادث الأول كان أزرق وليس أحمر ... " وعند هذه النقطة أقاطعك : " ولكنك ذكرت لى فى اللحظة الماضية أن الحادث الأول أحمر ، وتقول الآن أنه أزرق . إننى لا أستطيع فهمك " . ربما أكون قد سجلت ملاحظاتك على شريط ، وأننى أسترجع الشريط لكى أقنعك أن ما ذكرته متناقض . فإذا أصررت على وصفك هذا الذى يحمل هذين التقريرين المتناقضين ، فإننى سأصر عندئذ على أنك لم تصف لى شيئا يمكن أن يتصف بصفة العالم الممكن .

ويمكنك من ناحية أخرى أن تصف عالماً ممكناً على هذا النحو : " هناك رجل ينكمش حجمه يصبح أصغر فأصغر . وفجأة يتحول إلى طائر ، وعندئذ يصبح الطائر ألف طائر . تطير هذه

الطيور فى السماء ، وتتجاذب السحب أطراف الحديث عما حدث " . هذا كله عالم ممكن . خيالى نعم ، ولكنه غير متناقض .

معنى هذا أن العوالم الممكنة عوالم معقولة . لكننى أحاول أن أتجنب الحد " معقول " ، لأنه يستخدم عادة بمعانى محدودة جداً ، أى " ربما يمكن تخيله فقط عن طريق كائن إنسانى " . يمكن وصف العديد من العوالم الممكنة ، ولكن لا يمكن تخيلها . يمكن أن نناقش ، مثلاً ، استمرارية فى كل المواضع المحددة باحداثيات معقولة حمراء ،وجميع مواضع محددة باحداثيات غير معقولة زرقاء . فإذا كنا فى وضع يسمح لنا بإمكانية وصف ألوان المواضع ، إذن لكان هذا عالماً غير متناقض ، إنه عالم مدرك بأوسع معنى للكلمة ، ذلك لأننا يمكننا افتراضه بلا تنافس ، وهو غير مدرك بالمعنى السيكولوجى . إذ لا يمكن لشخص ما أن يتخيل استمرارية مواضع غير ملونة ، يمكننا أن نتخيل نموذجا فجًا للاستمرارية ، يكون محتوياً على مواضع متراصة باحكام شديد . العوالم الممكنة هى العوالم المدركة بأوسع معنى للكلمة ، فهى العوالم التى يمكن وصفها دون وقوع فى تناقض منطقى .

لا يمكن استخدام قوانين المنطق والرياضيات البحتة ، بحكم طبيعة هذه القوانين ، كقاعدة للتفسير العلمى ، لأنها لا تخبرنا عن شىء يميز العالم الواقعى عن أى عالم آخر ممكن . فعندما نسأل عن تفسير لحقيقة ما ، أو ملاحظة نوعية فى العالم الفعلى ، علينا أن نستخدم قوانين امبيريقية . لن يكون لها طابع اليقين الذى نجده فى القوانين المنطقية والرياضية ، لكنها يمكن أن تنبئنا بشىء ما عن بناء العالم .

فى القرن التاسع عشر ، أعلن علماء فيزياء ألمان ، أمثال جوستاف كيرشهوف Gustav Kirchhoff وأرنست ماخ Ernst Mach أنه لا يحق للعلم أن يبحث فى " لماذا ؟ " ولكن عليه أن يبحث عن " كيف ؟ " . وكانوا يعنون بذلك ، أنه لا ينبغى للعلم أن يبحث عن عوامل ميتافيزيقية مجهولة ، تكون مسئولة عن حوادث معينة ، وإنما ينبغى فقط أن تصف مثل هذه الحوادث فى حدود القوانين ، ينبغى أن نتفهم هذا الخطر الذى كان مفروضاً على السؤال" لماذا؟ " فى سياقه التاريخى . إذا كانت الخلفية هى المناخ الفلسفى الألمانى فى العصر الذى كان يسوده المثالية التقليدية لفختة وشلنج ، وهيجل . شعر هؤلاء الرجال أن وصف العالم بالسؤال كيف ، لم يكن كافياً . أرادوا فهما أكمل . واعتقدوا أنهم يمكنهم الوصول إلى هذا الفهم عن طريق أسباب ميتافيزيقية تكمن خلف الظواهر وليست فى متناول المنهج العلمى . قاوم

علماء الفيزياء وجهة النظر هذه ، بقولهم " دعونا وشأننا ، وخذوا معكم أسئلتكم لماذا ، فليس ثمة إجابة عنها في حدود القوانين الامبيريقية . اعترضوا على أسئلة ـ لماذا لأنها كانت دائماً أسئلة ميتافيزيقية .

ولقد تغير اليوم هذا المناخ الفلسفي . ومع ذلك هناك في ألمانيا فلاسفة قلائل ، لا يزالون منخرطين في التقليد المثالي ، أما في إنجلترا والولايات المتحدة فقد اختفى هذا عملياً . ونتيجة لذلك ، لم تعد تقلقنا أسئلة لماذا . ولم نعد نقول " لا تسأل لماذا " لأنه عندما يسأل الشخص ما الآن لماذا ، فإننا نفترض أنه يعني به معنى علمياً ، لا ميتافيزيقيا ، أنه يسزنا ببساطة أن نفسر شيئا ما ، بوضعه في إطار القوانين الامبيريقية .

عندما كنت شاباً صغيراً ، وعضواً في دائرة فيينا ، كانت بعض مؤلفاتي المبكرة مكتوبة كرد فعل للمناخ الفلسفي للمثالية الألمانية . ونتيجة لذلك ، كانت هذه النشرات ، وتلك التي كتبها آخرون من دائرة فيينا ، مليئة بتلك العبارات التي تحظر الأشياء التي ناقشناها من قبل . وعلينا أن نتفهم هذه المحظورات من السياق التاريخي الذي نجد أنفسنا متواجدين فيه . أما اليوم ، وبصفة خاصة في الولايات المتحدة ، لم نعد نضع مثل هذه المحظورات . نوع المركبات التي نستخدمها هنا ذات طبيعة مختلفة ، وغالباً ما تحدد طبيعة المركبات الواحدة . الطريقة التي يمكن أن تعبر بها وجهات النظر الواحدة .

عندما تكون بصدد تفسير حقيقة ما ، وقلنا إنه لابد من استخدام قانون علمي ، فإن ما نرغب في استبعاده على وجه الخصوص ، هو وجهة النظر التي تنادي باستيفاء العوامل الميتافيزيقية ، حتى قبل أن نتمكن من تفسير الحقيقة بشكل مناسب .

في العصور قبل العلمية ، كان هذا هو نوع التفسير الذي يقدمونه . كان يعتقد أن العالم مسكون بأرواح أو شياطين لا يمكن ملاحظتهم بشكل مباشر ، ولكنهم كانوا المسئولين عن سقوط المطر ، وفيضان النهر ، وضوء البرق . فأي حادث يراه المرء ، فلا بد أن يكون هناك شيء ما أو بالأحرى ، شخص ما مسئول عن هذا الحادث . يمكن إدراك هذا سيكلوجياً . إذا اقترن إنسان شيء ما لا أحبه ، من الطبيعي بالنسبة لي أن اعتبره مسئولاً عنه ، وأن أصب جام غضبي عليه ، وأضربه . وإذا أمطرت سحابة فوقي مطراً ، فلا يمكنني أن أضرب السحابة ، ولكني استطيع أن أجد متنفساً لغضبي إذا جعلت السحابة ، أو شيطانا ما غير مرئي قابع خلف

السحابة هو المسئول عن المطر . أستطيع أن أصب اللعنات على هذا الشيطان ، وأهز له قبضتي ، فيزول عني الغضب ، وأشعر بارتياح . من الميسور أن نفهم كيف وجد أفراد المجتمعات قبل العالمية قناعة سيكولوجية في تخيل محركات خلف ظواهر الطبيعة .

في هذا العصر ، كما نعلم ، تخلت المجتمعات عن أساطيرها ، ولكن في بعض الأحيان ، يضع العلماء المحركات محل الأرواح ، حيث أنها لا تختلف في الحقيقة عنها كثيراً . كتب الفيلسوف الألماني هانز دريتش Hans Driesdh المتوفى عام ١٩٤١ ، كتباً عديدة في فلسفة العلوم ، وكان في الأصل عالماً بيولوجياً بارزاً ، اشتهر بعمله في الاستجابات العضوية المعينة ، بما فيها التولد في قنافد البحر ، بتر أطراف أجسادها وأراد أن يلاحظ في أي مراحل نموها وتحت أي الظروف يمكن أن تنمو لها أطراف جديدة . كان عمله العلمي هذا هاماً وممتازاً ، ولكن كان دريتش مهتماً أيضاً بالمسائل الفلسفية ، وبصفة خاصة تلك التي تتعامل مع أسس البيولوجيا ، لذلك أصبح أخيراً أستاذاً للفلسفة . أنجز في الفلسفة أيضاً بعض الأعمال الممتازة ، ولكن لأن فلسفته كانت تتصف بمظهر معين ، فقد جعلني هذا وأصدقائي في حلقة فيينا لا ننظر إليه بالتقدير الكافي . كانت له طريقته في تفسير العمليات البيولوجية باعتبار أنها تولد وتكاثر .

في الوقت الذي أنجز فيه دريتش عمله البيولوجي ، كان الاعتقاد السائد هو أن العديد من خواص الكائنات الحية ، لا يمكن أن توجد في غيرها ( ونرى اليوم بوضوح أكثر أن هناك صلة مستمرة للعوالم العضوية وغير العضوية ) . أراد أن يفسر هذه الخواص العضوية الفريدة ، لذلك نراه يفترض ما أطلق عليه اسم " انتلخيا " entelchy . أدخل أرسطو هذا المصطلح ، ولكن كان له معنى خاص عنده ، ولسنا في حاجة إلى مناقشة هذا المعنى هنا . قال دريتش : " الانتلخيا هي قوة خاصة معينة تجعل الكائنات الحية تتصرف بالطريقة التي تتصرف بها . ولكنك لا ينبغي أن تعتقد أن الانتلخيا هذه قوة فيزيائية مثل الجاذبية أو المغناطيسية ، أوه ، كلا ، إنها لا شيء من هذا " .

أكد دريتش على أن انتلخيات الكائنات العضوية لها أنواع متعددة ، تعتمد على المرحلة العضوية للتطور . ففي الكائنات العضوية الأولية ، وحدة الخلية ، تكون الانتلخيا أكثر بساطة . وعندما تصعد سلم التطور ، من خلال النباتات والحيوانات الأدنى ، والحيوانات الأعلى وأخيراً إلى الإنسان ، تتعقد الانتلخيا أكثر فأكثر . يبدو هذا بأعلى درجة في الظواهر التي

اكتملت فيها أعلى أشكال الحياة . فما نسميه " بالعقل " فى الجسم الإنسانى ليس بالفعل سوى جانب من انتلخيا الشخص . فالانتلخيا شىء أكثر بكثير من العقل ، أو علـى الأقل ، أكثر من العقل الواعى ، لأنها مسئولة عن كل شىء تفعله كل خلية فى الجسم . لو جرح أصبعى تتكون خلايا جديدة للأصبع ، وتجلب عناصر للجرح تقتل البكتريا الداخلة ، لا توجد هذه الحوادث بالفعل عن وعى . فهى تحدث فى أصبع طفل عمره شهر لم يسمع قط عن قوانين الفسيولوجيا . كل هذا راجع ، كما يؤكد دريتش ، إلى تركيب الانتلخيا العضوى ، الذى يكون العقل واحداً من تجلياتها . إذن التفسير العلمى كان عند دريتش نظرية محكمة فى الانتلخيا ، تلك التى قدمها كتفسير فلسفى لظواهر لا يمكن تفسيرها علمياً مثل تولد أعضاء قنافذ البحر .

هل يعد هذا تفسيراً ؟ لقد أجريت وأصدقائى مناقشات عديدة مع دريتش حول هذا الموضوع. واتذكر أننى وهانز رايشنباخ انتقدنا نظرية دريتش فى المؤتمر العالمى للفلسفة المنعقد فى براغ عام ١٩٣٢ ، وتصدى هو وآخرون للدفاع عنها ولم نفرد مساحات كبيرة فى نشراتنا لهذا النقد ، لأن العمل الذى أنجزه دريتش فى كل من البيولوجيا والفلسفة قد حاز على إعجابنا . كان يختلف تماماً عن معظم الفلاسفة فى ألمانيا فى أنه أراد بالفعل أن يطور فلسفة علمية . ومع ذلك فقد بدا لنا أن نظريته فى الانتلخيا تفتقر إلى شىء ما .

ما هذا الذى تفتقره : أنه الفراسة ؛ فأنت لا يمكنك أن تعطى تفسيراً لشىء دون أن تدعمه بقانون أيضاً .

قلنا له : " أننا لا نعرف ما نعنيه بالانتلخيا التى تقول بها ، إنك تقول انها ليست قوة فيزيائية ، ما عساها أن تكون إذن ؟

ويمكننى أن أجيب نيابة عنه لتفسير كلماته : " حسناً . لا ينبغى عليك أن تكون ضيق الفهم هكذا . عندما تسأل عالما فيزيائيا عن سبب تحرك هذا المسمار فجأة تجاه قضيب من الحديد . سيخبرك بأن قضيب الحديد ممغنط ، وأن المسمار انجذب إليه بفعل المغناطيسية . لم يتسن لأحد أن يرى على الاطلاق المغناطيسية ، وإنما كل ما تراه إنما هو حركة مسمار صغير تجاه قضيب من الحديد " .

ويمكننا أن نوافق على ذلك بقولنا : " أجل ، إنك على حق . لم يتسن لأحد أن يرى

المغناطيس " .

ويستطرد قائلاً : " وهكذا ترى أن الفيزيائى يدخل قوى لا يمكن أن يلاحظها أحد ـ مثل القوى المغناطيسية والكهربية .

ـ حتى يمكنه أن يقدم تفسيراً لظواهر معينة . أريد أن أفعل نفس الشيء . لا يمكن أن تكون القوى الفزيائية مناسبة لتفسير ظواهر عضوية معينة . لذلك نفترض قوى أخرى شبيهة لها ، ولكنها ليست فيزيائية ، لأنها لا تسلك نفس الطريق الذى تسلكه القوى الفيزيائية ، لا يمكن مثلاً تعيين مكانها أو موضعها ، على الرغم من أنها تتصرف طبقاً لنظام فيزيائى ، ولكن هذا النظام لا بد أن يكون كاملاً ، فلا ينطبق على جزء بعينه دون آخر . لذلك لا يمكنك أن تحدد موضعها ، إذ ليس لها موضع ، فهى ليست قوة فيزيائية . لذلك من المشروع تماماً بالنسبة لى أن أدخل مثل هذه القوة مثلما يدخل الفيزيائى القوة المغناطيسية غير المرئية " .

ويمكن أن يكون ردنا على ذلك أن الفيزيائى لا يقدم تفسيراً لحركة المسمار تجاه القضيب عن طريق إدخال كلمة " المغناطيس " ببساطة . ولكن إذا سألته لماذا يتحرك المسمار ، لأجابك بسبب المغناطيس ، وإذا ضغطت عليه أكثر من أجل أن يقدم لك تفسيراً أكمل لقدم لك قوانين . وربما لا تكون مصاغة بطريقة كمية مثل معادلات ماكسويل التى تصف المجالات المغناطيسية . وربما تكون قوانين كمية ولكنها بسيطة ليس فيها أعداد حادثة ، يمكن الفيزيائي أن يعلن : " تنجذب جميع المسامير المصنوعة من الحديد إلى حواف القضبان الممغنطة " ، ومن الممكن أن يقدم تفسيراً لحالة المغنطة بإعطاء قوانين غير كمية أخرى ، فيخبرك أن معدن الحديد الخام من مدينة مغنيسيا ( أذكرك بأن الكلمة " مغناطيس " مشتقة من اسم المدينة اليونانية مغنيسيا ، التى وجدوا فيها هذا النوع من الحديد الخام لأول مرة ) وأن له هذه الخاصية . كما يمكنه أن يقدم لك تفسيراً آخر مثل أن قضبان الحديد تصبح ممغنطة إذا طرقت بمواد خام ممغنطة طبيعياً ، وبطريقة معينة ، أو يطلعك على قوانين أخرى حول الشروط الواجب توافرها لكى تصبح عناصر معينة ممغنطة ، أو قوانين أخرى حول ظواهر مرتبطة بالمغناطيس . يمكنه أيضاً أن يخبرك أنك إذا قمت بمغنطة إبرة وعلقتها من منتصفها ، بحيث تجعل طرفيها حرتى الحركة ، فإن طرفاً منهما سيتجه إلى الشمال ، فلا بد أن تلاحظ أنهما لا ينجذبان أبداً ، وسينفر كل منهما من الآخر . ويمكنه أن يشرح لك أنك إذا سخنت قضيباً من الحديد الممغنط أو طرقته ، فسوف يفقد القوة المغناطيسية . كل هذه القوانين إنما هى قوانين كمية ، يمكن التعبير عنها بالصورة المنطقية " إذا ... إذن ... " . والنقطة التى أريد التركيز عليها هنا هى : لا يكفى ، بالنسبة لأغراض

التفسير ، أن نقوم بإدخال عامل جديد ، ونكتفى بأن نطلق عليه اسماً جديداً . وإنما لا بد أن نضع قوانين .

لم يذكر دريتش أى قوانين ، ولم يحدد كيف تختلف انتلخيا شجرة بلوط مثلاً عن انتلخيا ماعز أو زرافه . لم يقم بعمل تصنيف لانتلخياته . قام بتصنيف الكائنات العضوية فقط ، وقال لكل كائن عضوى الانتلخيا الخاصة به . لم يضع لنا قوانين تبين لنا تحت أى الشروط يمكن للانتلخيا أن تقوى أو تضعف . قام بالطبع بوصف جميع أنواع الظواهر العضوية ، وأعطى لها أحكاماً عامة . قرر أنك إذا بترت طرفا من قنفذ البحر بطريقة معينة ، لما ظل الكائن حياً ، وإنك إذا بترته بطريقة أخرى لظل الكائن حيا ، وإن الطرف المبتور سيعود إلى النمو مرة أخرى . فعليك أن تتوقف عن بتره بالطريقة الأولى ، وستجد عند مرحلة معينة من نمو قنفذ البحر ، تولد طرف جديد وكامل . هذه القضايا كلها قوانين خاصة بعلم الحيوان وتستحق منا كل التقدير .

ولكن السؤال الآن الموجه إلى دريتش هو : " ما الذى أضفتـه إلى هذه القوانين الامبيريقية ؟ . إنك بعد أن ذكرت هذه القوانين ، تقدمت لتزف إلينا خبر أن كل الظواهر التى تغطيها هذه القوانين ، إنما هى بسبب انتلخيا قنفذ البحر . " الحقيقة أننا اعتقدنا أنه لم يضف أى شىء ، لأن فكرة الانتلخيا لم تقدم لنا قوانين جديدة وإنما كل ما فعلته أنها قامت بتفسير قوانين عامة موجودة بالفعل ، فهى لم تساعدنا على الأقل فى عمل تنبؤات جديدة . لهذه الأسباب لا يمكننا أن نقول إن معرفتنا العلمية قد ازدادت . يبدو من الوهلة الأولى أن مفهوم الانتلخيا يزودنا بشىء ما من أجل تفسيراتنا ، ولكن عندما نفحصه ، نكتشف فراغه . إنه تفسير كاذب .

يمكن أن يقال أن مفهوم الانتلخيا ليس عديم النفع تماماً ، إذا أعطى علماء الأحياء توجيهاً جديداً ، منهجاً جديداً لتنظيم القوانين البيولوجية . وردنا على ذلك هو أنه من الممكن أن يكون مفيداً حقاً ، إذا أمكننا أن نصوغ عن طريقه قوانين عامة ، أكثر مما هو مصاغ من قبل ، فى الفيزياء مثلاً ، لعب مفهوم الطاقة دوراً شبيهاً صاغ فيزيائيو القرن التاسع عشر نظـريـة ، مفادها ، أنه ربما تكون هناك ظواهر معينة مثل الطاقة الحركية أو طاقة الجهد فى الميكانيكا ، تقوم بتسخين طاقة المجالات المغناطيسية ( كان هذا قبل اكتشاف أن الحرارة تتولد من الطاقة الحركية للجزيئات ) وهكذا أمكن لمظاهر متعددة من الحرارة أن تكون نتيجة لنوع واحد أساسى من الطاقة . أدى هذا إلى إجراء تجارب أظهرت أن الشكل الميكانيكى يمكن أن يتحول إلى حرارة ، والحرارة تتحول إلى شغل ميكانيكى ، ولكن تظل كمية الطاقة ثابتة . وهكذا كان

مفهوم الطاقة مثمراً لأنه أدى إلى قوانين أكثر عمومية ، مثل قانون حفظ الطاقة . ولكن انتلخيا دريتش لم تكن مفهوماً مثمراً بهذا المعنى ، لأنها لم تؤد إلى اكتشاف قوانين بيولوجية أكثر عمومية .

إن العلم يمدنا ـ بالإضافة إلى القيام بتفسيرات للحقائق التى يمكن ملاحظتها أيضاً ـ بوسائل تمكننا من التنبؤ بحقائق جديدة لم تلحظ بعد . وتتبع هنا نفس النسق المنطقى الذى اتبعناه فى التفسير تماماً ، وهو ما يمكن التعبير عنه رمزياً ، كما سبق القول :

١ ـ ( و ) ( ق و ⊃ ك و ) .

٢ ـ ق أ .

٣ ـ ك أ .

أولاً ، لدينا هنا قانون كلى : بالنسبة لأى موضوع وإذا كانت له الخاصية ق ، إذن لكانت له أيضاً الخاصية ك . ثانياً ، لدينا عبارة تفيد أن الموضوع أ له الخاصية ق . ثالثاً : نستنبط بمساعدة المبادىء المنطقية الأولية أن للموضوع أ الخاصية ك .

يعتمد التفسير والتنبؤ على هذا النص . تختلف معرفة الحالة فقط ، ففى التفسير تكون الواقعة هـ أ معروفه بالفعل . نفسر ك أ ببيان كيف تستنبط من القضيتين ١ ، ٢ . أما فى التنبؤ بالواقعة هـ أ لم تعرف بعد ، ولأن لدينا قانونا ، ولدينا الواقعة ق أ ، نستنتج من ذلك أنه لابد أن تكون ك أ واقعة أيضاً ، حتى إذا لم تكن قد خضعت للملاحظة بعد . بتطبيق قواعد المنطق بالطريقة المبينة فى النسق ، استدل على أننى إذا قمت بقياس القضيب الآن ، سوف أجد أنه أطول من ذى قبل .

فى معظم الحالات ، تكون الواقعة المجهولة خاصة بحادث مستقبلى بالفعل ( فقد يتنبأ عالم مثلاً بموعد الكسوف الثانى للشمس ) ، إننى استخدم المصطلح " تنبؤ " هنا ، للإشارة إلى المعنى الثانى من القوانين . وهى ليست فى حاجة إلى التنبؤ بها بالمعنى الحرفى . فى العديد من الحالات تتزامن الحقيقة المجهولة مع الحقيقة المعلومة ، كما هو الحال فى مثال القضيب الساخن . يحدث امتداد الحديد فى آن واحد مع عملية التسخين . ولكن ملاحظتنا للامتداد هى التى تحدث بعد ملاحظتنا للتسخين .

وفى حالات أخرى ، يمكن للحقيقة المجهولة أن تكون فى الماضى . فالمؤرخ يستدل على

حقائق مجهولة معينة للتاريخ ، على أساس القوانين السيكولوجية ، مع حقائق معينة مشتقة من وثائقه التاريخية . ومن الممكن للفلكى أن يستدل على أن خسوفاً للقمر كان قد حدث فى تاريخ معين فى الماضى . ويستدل الجيولوجى من وجود خطوط على صخرة كبيرة ومستديرة بفعل الجليد ، أنه فى زمن ما فى الماضى كان هذا الاقليم مغطى بالجليد ، إننى استخدم المصطلح " تنبؤ " لكل هذه الأمثلة ، لأنه فى كل حالة من هذه الحالات تحصل على نفس النسق المنطقى ونفس الموقف المعرفى ـ حقيقة معلومة ، وقانون معلوم نشتق منهما حقيقة مجهولة .

فى حالات عديدة ، وربما يكون القانون المستخدم احصائياً أكثر من كونه كلياً . ومن ثم يصبح التنبؤ محتملاً فقط ، يتعامل عالم الأرصاد الجوية مثلاً ، مع خليط من القوانين الفيزيائية المضبوطة ، والقوانين الاحصائية المختلفة . لا يمكنه أن يعلن أنها ستمطر غداً ، وإنما يمكنه فقط أن يقول إن المطر محتمل جداً .

يعد هذا اللا تعيين أيضاً سمة للتنبؤ بالسلوك الإنسانى . فعلى أساس معرفة قوانين سيكولوجية معينة ، ذات طبيعة احصائية ، ووقائع معينة عن شخص ، نستطيع أن نتنبأ بدرجات متفاوته من الاحتمال كيف سيتصرف . وربما نسأل عالما نفسيا أن يطلعنا على أثر حادث معين على طفلنا . ويجيب : " طبقاً لما أراه ، من المحتمل أن يكون رد فعل طفلكم على هذا النحو . قوانين علم النفس ليست دقيقة جداً بالطبع ، فهى علم حديث . وإلى الآن مازلنا نعلم القليل جداً عن قوانينها . ولكن على أساس ما هو معلوم ، اعتقد أنه من الملائم أن تشرعوا فى ... " ، وهكذا يمدنا بنصيحة قائمة على أفضل تنبؤ يمكن أن يتوقعه . من خلال القوانين الاحتمالية ، عن السلوك المستقبلى لطفلنا .

وإذا كان القانون كلياً ، فإن المنطق الاستنباطى الأولى يدخل فى عملية الاستدلال على الحقائق المجهولة . أما إذا كان القانون احصائياً ، فعلينا أن نستخدم منطقاً مختلفاً ، هو منطق الاحتمال . إليك مثالاً بسيطاً ، يذكر قانون أن ٩٠ فى المائة من ساكنى اقليم معين شعرهم أسود ، أعرف أن فرداً ، يسكن هذا الاقليم ، لكننى لا أعرف لون شعره ، يمكننى مع ذلك أن استدل على أساس قانون احصائى أنه من المحتمل أن يكون شعره أسود بنسبة تسعة على عشرة .

التنبؤ ضرورى بطبيعة الحال فى الحياة اليومية ، وفى العلم . حتى أن معظم الأفعال التافهة

التى تقوم بها أثناء اليوم تقوم على تنبؤات . تدير أكرة الباب ، تفعل ذلك لأن ملاحظات الحقائق الماضية ، بالإضافة إلى القوانين الكلية ، تؤدى بك إلى أن تعتقد أن إدارة الأكرة ستفتح لك الباب ، وربما لا تعى الأساس المنطقى المنطوى عليه هذا الفعل ـ إنك بلا شك تفكر فى أشياء أخرى ـ ولكن هذه الأفعال القصدية تفترض سلفاً هذا الأساس . هناك معرفة بحقائق خصوصية ، معرفة بانتظامات معينة يمكن التعبير عنها باعتبارها قوانين كلية أو احصائية وتعطى قاعدة للتنبؤ بحقائق مجهولة . يدخل التنبؤ فى كل فعل من السلوك الإنسانى الذى يتضمن اختياراً قصدياً . بدونه يصبح كل من العلم والحياة ضرباً من المستحيل .

***

**هوامش**

١ ـ يطلق على هذا الثابت اسم ثابت التضمن Implication ، وهو أحد الثوابت المنطقية الهامة التى يعتمد عليها النسق الاستنباطى عند رسل وهوايتهد فى كتابهما المشترك " مبادىء الرياضيات " الذى صدرت طبعته الأولى فى ثلاثة أجزاء فى الأعوام ١٩١٠ ـ ١٩١٣ . وثابت التضمن يتم التعبير عنه لغوياً بلفظى الشرط وجوابه الذى يتخذ صورة القضية إذا... إذن " وتسمى أيضاً القضية الشرطية . ( المترجم ) .

٢ ـ نوع من النباتات الفطرية سريعة النمو والزوال . ( المترجم ) .

٣ ـ وهو ذلك المبدأ الذى يقرر أن هناك قدراً محدداً من اللا تحدد فيما يتعلق بالتنبؤ بمسار الجزىء . مما يجعل من المستحيل التنبؤ بهذا المسار بدقة . ( المترجم ) .

## الفصل الثانى

# الاستقراء والاحتمال الإحصائى

افترضنا فى الفصل الأول ، أن قوانين العلم مفيدة ، ورأينا كيف تستخدم هذه القوانين فى كل من العلم والحياة اليومية باعتبارها تفسيراً لوقائع معلومة وباعتبارها وسائل للتنبؤ بوقائع مجهولة . دعنا نسأل الآن ، كيف نتوصل إلى مثل هذه القوانين ، وعلى أى أساس نبرر اعتقادنا بأن قانوناً ما ينعقد ؟ نعرف بالطبع أن كل القوانين تعتمد على ملاحظة انتظامات معينة . فهى التى تنظم المعرفة غير المباشرة ، كمقابل للمعرفة المباشرة بالوقائع . فما الذى يبرر لنا الانتقال من ملاحظة الوقائع المباشرة إلى وضع قانون يعبر عن انتظامات معينة فى الطبيعة ؟ يسمى هذا فى علم المصطلحات العلمية التقليدية " بمشكلة الاستقراء " .

غالباً ما يتناقض الاستقراء مع الاستنباط ، بقولنا إن الاستنباط ينتقل من العام إلى الخاص أو الفردى ، بينما ينتقل الاستقراء بالطريق الآخر ، من الفردى إلى العام . هذا تبسيط مضلل . ففى الاستنباط توجد أنواع من الاستدلالات ننتقل فيها من العام إلى الخاص ، كما يوجد فى الاستقراء أيضاً أنواع متعددة من الاستدلالات . كما أن التمييز التقليدى مضلل أيضاً ، لأنه يفترض ببساطة أن الاستنباط والاستقراء فرعان لنوع واحد من المنطق . يحتوى مؤلف جون ستيوارت مل John Stuart Mill نسق للمنطق A System of Logic على وصف مسهب لما يسمى " بالمنطق الاستقرائى " ، ويذكر قواعد عديدة لإجراء الاستقراء . ونتجنب اليوم بشكل متزايد استخدام المصطلح " الاستدلال الاستقرائى " هذا إذا كنا نستخدمه على الإطلاق . ولكن علينا أن نتحقق من أنه يستدل على نوع من الاستدلالات ، تختلف بشكل أساسى عن الاستنباط .

ففى المنطق الاستنباطى ، ينتقل الاستدلال من مجموعة من المقدمات إلى نتيجة لا تختلف أبداً عن المقدمات . فإذا كان لديك سبب لصدق المقدمات ، فلا بد أن يكون لديك بالتساوى سبب قوى لصدق النتيجة التى تستتبع منطقياً من المقدمات . فإذا كانت المقدمات صادقة ، فلا

يمكن أن تكون النتيجة كاذبة . يختلف الموقف تماماً فى الاستقراء . فلا يتعين أبداً صدق نتيجة استقرائية . ولا أعنى فقط أن النتيجة لا يمكن أن تتعين لأنها تستند إلى مقدمات لا تعرف على وجه التأكيد . فحتى إذا افترضنا أن المقدمات صادقة ، وأن الاستدلال إنما هو استدلال صحيح ، فإن النتيجة مع ذلك يمكن أن تكون كاذبة . وأقصى ما يمكننا قوله هو أنه طبقاً للمقدمات المفترضة ، تكون درجة معينة من الاحتمال . ويعرفنا المنطق الاستقرائى كيف نحسب قيمة الاحتمال .

نعرف أن قضايا الواقعة الجزئية التى نتوصل إليها بالملاحظة لا يمكن أن تتعين أبداً بشكل مطلق ، لأننا قد نقع فى أخطاء فى ملاحظاتنا ، ولكن ، بالنسبة للقوانين يظل اللا تعيين أكبر . ففى قانون أحوال العالم ، بالنسبة لأى حالة جزئية ، فى أى مكان وأى زمان ، إذا صدق شيء ، يصدق الشيء الآخر . ومن الواضح أنه يتناول حالات ممكنة لا نهائية . يقرر قانون فسيولوجى أنك إذا غمدت خنجراً فى قلب أى كائن بشرى ، فإنه يموت ، . ولإننا لم نلحظ أبداً أى استثناء فى هذا القانون ، فإننا نقبله باعتباره قانوناً كلياً . وصحيح بالطبع ، أن عدد الحالات التى لاحظنا فيها وجود خناجر منغرزة فى قلوب إنسانية محدودة ، ومن الممكن فى يوم ما أن تتوقف الإنسانية عن الوجود تماماً ، وفى هذه الحالة ، يصبح عدد الكائنات الإنسانية سواء فى الماضى أو المستقبل محدودة ، إلا أن هناك حالات لا نهائية ممكنة ، قمنا بتغطيتها جميعاً بواسطة القانون ، وإذا كان الأمر كذلك ، فليس ثمة عدد للملاحظات النهائية ، مهما كانت كبيرة ، يمكن أن تصوغ قانوناً " كلياً " بعينه .

وربما نستمر ونجرى ملاحظات أكثر فأكثر ، وبشكل معتنى به ، وبطريقة علمية على قدر استطاعتنا ، لكى نقول فى نهاية الأمر ، " لقد تم اختبار هذا القانون عدة مرات ، ولذلك فإننا نثق فى صدقه ثقة كاملة ، لأنه قانون وطيد البناء ، راسخ الأساس " . ومع ذلك ، إذا فكرنا فى الموضوع بروية ، لوجدنا أن أعظم القوانين الفيزيائية رسوخاً ، إنما تعتمد فقط على عدد نهائى من الملاحظات . ومن الممكن دائماً أن يأتى الغد بمثال واحد فقط معاكس تمامـاً لما لاحظناه ، وأنه من المستحيل أن نصل إلى العصر الذى يتحقق فيه القانون تحققاً كاملاً . وفى الحقيقة أننا لسنا بصدد الحديث عن " التحقق " " verification " على الإطلاق ـ هذا إذا كنا نعنى به تأسيسا قاطعا للصدق ـ ولكننا نقصد به التأييد confirmation فقط ، ومما يدعو إلى العجب ، أنه على ارغم من عدم وجود طريقة نتمكن بها من التحقق من قانون ( بالمعنى الدقيق للتحقق ) ، إلا أنه من السهل أن نجد طريقة لتكذيبه ، فلسنا فى حاجة إلا إلى مثال معاكس

واحد فقط لنقرر كذبه ، وربما تكون معرفة مثال " معاكس " فى حد ذاته ، عملية غير مؤكدة ، أو ربما نرتكب خطأ ما فى الملاحظة ، أو نكون مخدوعين بطريقة ما . ولكن إذا افترضنا ، مع ذلك ، أن المثال المعاكس حقيقى ، إذن لا يستتبع ذلك نفى القانون فى الحال . فإذا كان القانون يقرر أن كل موضوع له الخاصية ق ، لابد أن تكون له أيضاً الخاصية ك ، ووجدنا أن الموضوع الذى له الخاصية ق ، ليست له الخاصية ك ، إذن لكان ذلك دحضاً للقانون . إذ أن مليون حالة موجبة لا تكفى للتحقق من قانون ، ولكن حالة واحدة مخالفة كافية لتكذيبه . ويبدو أن هذا الموقف غير متماثل بشكل قوى ، لأن من السهل أن ندحض قانوناً ، ومن الصعب بمكان أن نجد تأييداً قوياً له .

إذن كيف نعثر على تأييد قوى لقانون ؟ إننا إذا لاحظنا عددا ضخماً من الحالات الموجبة ، وبدون أية حالة سالبة ، قلنا إن التأييد قوى . ولكن مدى قوته ومدى التعبير عن هذه القوة عددياً ، لازالت مسألة جدال فى فلسفة العلم . وسوف نعود إلى هذه النقطة بعد قليل . ولكننا نهتم هنا بتوضيح أن مهمتنا الأولى أنما تنحصر فى البحث عن تأييد لقانون ، خضعت الحالات فيه للاختبار لتحديد ما إذا كانت هذه الحالات موجبة أو سالبة . ويتم هذا عن طريق استخدام نسق منطقى لإجراء تنبؤات . يذكر القانون أن ( و ) ( ق و ⊂ ك و ) ، ومن ثم ، بالنسبة لأى موضوع معطى فإن ق أ ⊂ ك أ . ونحاول العثور على موضوعات متعددة على قدر استطاعتنا ( وهى تلك الحالات التى رمزنا لها بالرمز أ ) ، بحيث تكون لها الخاصية ق ، وحينئذ نلاحظ ما إذا كانت تحقق أيضاً شرط ك . فإذا وجدنا حالة سالبة . فإن المسألة تكون مقررة ، وإلا كانت كل حالة موجبة بينة إضافية ، تضاف إلى قوة تأييدنا .

وهناك بالطبع ، قواعد منهجية متعددة لكفاية الاختبار . إذ ينبغى مثلاً أن تكون الحالات متنوعة بقدر المستطاع . فإذا كنت تختبر قانوناً فى التمدد الحرارى ينبغى أن تحصر اختباراتك على العناصر الجامدة . وإذا كنت تختبر قانوناً يقرر أن جميع المعادن موصلة جيدة للحراة ، فلا ينبغى أن تنحصر اختباراتك على عينات من النحاس فقط ، بل ينبغى أن تجرى اختباراتك على أكبر عدد ممكن من المعادن ، تحت شروط متغيرة ـ ساخنة ، باردة ، وهكذا ، ولن نتناول القواعد المنهجية المتعددة اللازمة للاختبار ، ولكننا سوف نشير فقط إلى الحالات التى يختبرها القانون ، وذلك عن طريق إجراء تنبؤات ، وحينئذ نرى ما إذا كانت هذه التنبؤات قد تحققت أو لا . فى بعض الحالات تجود علينا الطبيعة بالموضوعات التى نرغب فى اختبارها . وفى حالات أخرى ، ينبغى علينا استحضارها . ففى اختبارنا لقانون التمدد الحرارى مثلاً ، لا نبحث عن الموضوعات

الساخنة فى الطبيعة ، وإنما نستحضر هذه الموضوعات ونقوم بتسخينها . على أنه لابد أن نضع فى اعتبارنا أن استحضارنا لظروف التجريب ، أو فى حالة وجودها جاهزة فى الطبيعة ، فلابد أن نطبق عليها نفس المنهج .

ولقد أثرت منذ لحظة مسألة ما إذا كانت درجة تأييد القانون ( أو التقرير الفردى الذى نتنبأ به عن طريق القانون ) يمكن التعبير عنه فى صورة عددية ، وبدلاً من القول أن هـــذا القانـــون " مؤسس جيداً " ، وأن ذلك القانون الآخر " يستند إلى شواهد واهية " ، علينا أن نقول أن القانون الأول حاصل على ٨ درجات تأييد ، بينما القانون الثانى حاصل على درجتين فقط . هذه المسألة خضعت لجدال مطول ، ولكن وجهة نظرى الشخصية هى أن الإجراء مشروع ، وأن ما نطلق عليه " اسم التأييد " ، إنما هو نفسه الاحتمال المنطقى .

وهذا لايعنى الشىء الكثير ، حتى نتعرف تماماً على ما نعنيه بعبارة " الاحتمال المنطقى " . ولماذا أضفت الصفة " منطقى " ، على الرغم من أنها عادة غير مألوفة ، إذ أن معظم المؤلفات التى تتناول موضوع الاحتمال لا تضع تمييزاً بين مختلف أنواع الاحتمال ، ولكننى أخص نوعاً منها وأطلق عليه اسم " منطقى " . هذا اعتقادى ، ومع ذلك ، هناك نوعان مختلفان بشكل أساسى للاحتمال ، وأننى أميز بينهما بأن أطلق على أحدهما اسم " الاحتمال الاحصائى " والآخر " الاحتمال المنطقى " . ولسوء الحظ فإن نفس الكلمة " احتمال " ، قد استخدمت بمعنيين مختلفين أشد الاختلاف . غير أن عدم وجود مثل هذا التمييز يعد مصدراً لاضطراب شديد فى المؤلفات التى تتناول فلسفة العلم ، كما هو الحال تماماً فى مناقشات العلماء أنفسهم .

وبدلاً من " الاحتمال المنطقى " ، فإننى استخدم أحياناً مصطلح " الاحتمال الاستقرائى " ، لأن هذا النوع من الاحتمال ، فى تصورى ، هو ما نعنيه عندما تجرى استدلالاً استقرائياً لأننى أعنى " بالاستدلال الاستقرائى " ليس فقط الاستدلال الذى ينتقل من الوقائع إلى القوانين ، وإنما أيضاً الاستدلال " غير البرهانى " ، وهو ذلك الاستدلال الذى عندما نسلم فيه بصدق مقدماته ، فلا يستتبع أن تكون نتيجته صادقة طبقاً لضرورة منطقية . مثل هذه الاستدلالات يتم التعبير عنها طبقاً لدرجات ، وهى التى أطلق عليها اسم " الاحتمال المنطقى " أو " الاحتمـــال الاستقرائى " . ولكى يتبين لنا بوضوح التمييز بين هذا النموذج من الاحتمال ، والاحتمال الاحصائى ، يبدو من المفيد أن نلقى ضوءاً سريعاً على تاريخ نظرية الاحتمال .

ظهرت أول نظرية فى الاحتمال ـ وتسمى الآن عادة " بالنظرية الكلاسيكية " ـ خلال القرن

الثامن عشر وكان جاكوب بيرنوى Jacob Bernoulli ( ١٦٥٤ ـ ١٧٠٥ ) أول من كتب مقالة منهجية فيها ، وعاونه فى هذا معاونة جادة الأسقف توماس بيز Thomasa Beyes ، وفى نهاية ذلك القرن كتب الرياضى والفيزيائى العظيم بيير سيمون دى لابلاس Pierre Simon de Laplace أول مقالة ضخمة فى الموضوع ، كانت عملاً رياضياً شاملاً لنظرية الاحتمال ، ويلاحظ أنها كانت ذروة المرحلة الكلاسيكية .

وكانت معظم تطبيقات الاحتمال خلال هذه الفترة الكلاسيكية تتم على ألعاب الحظ ، مثل لعبة الزهر ، والكروت ، والروليت . وفى الواقع ، استمدت النظرية أصولها من حقيقة أن بعض المقامرين ، فى هذا الوقت قد سألوا بيير فيرما Pierre Fermat ، ورياضيين آخرين أن يحسبوا لهم الاحتمالات الدقيقة التى تتضمنها ألعاب معينة من ألعاب الحظ . وهكذا بدأت النظرية من مشكلات عينية ، ولم تبدأ من نظرية رياضية عامة . ولقد وجد الرياضيون أن من الغريب حقاً الإجابة عن مثل هذه التساؤلات . إذ أن هذا النوع من الرياضيات لم يكن منتشراً حتى يتسنى تغطية مثل هذه الإجابات ، وكنتيجة لذلك قاموا بتطوير نظرية التضمينات التى تمكنوا حينئذ من تطبيقها على مشكلات الصدفة .

فماذا فعل هؤلاء الرجال الذين قاموا بتطوير النظرية الكلاسيكية للاحتمال ؟ انهم فى الحقيقة قد اقترحوا تعريفاً لا يزال موجوداً فى مؤلفات الاحتمال الأولية ، وهو : أن الاحتمال نسبة من عدد الحالات الملائمة ، إلى كل الحالات الممكنة ، فما معنى هذا ؟ نوضح معناه بمثال بسيط . إذا قال شخص ما : " أننى سوف ألقى بهذا الزهر ، فماهى فرصة ظهور العدد واحد أو العدد اثنين ؟ " . فإنه طبقاً للنظرية الكلاسيكية ، تكون الإجابة على النحو التالى : أن هناك حالتين " ملائمتين " من مجموع شروط الحالات المتعينة فى المسألة . فإذا كانت جملة الحالات الممكنة لسقوط الزهر تساوى سته ، فإن معدل الحالات الملائمة إلى الحالات الممكنة تكون بنسبة ٢ ": ٦ أو ١ : ٣ . ومن ثم تكون إجابتنا على السؤال هى ، أن احتمال ظهور العدد واحد أو اثنين يساوى ٣/١ .

ويبدو أن هذا كله واضح تماماً ، بل شديد الوضوح ، ولكن هناك مع ذلك ، عقدة خطيرة فى النظرية . هى أن الباحثين الكلاسيكيين قالوا إن الفرد قبل أن يتمكن من تطبيق تعريفهم ، لابد أن يكون متأكداً تماماً من أن كل الحالات المشتركة إنما هى " محتملة بالتساوى " . وإذا كان الأمر كذلك ، نكون قد وقعنا فى دائرة عقيمة . لأننا نحاول تعريف معنى الاحتمال ، وفى نفس

الوقت نستخدم مفهوم " المحتمل بالتساوى " " equally probable " وتجدر الإشارة إلى أن رواد النظرية الكلاسيكية لم يستخدموا هذه المصطلحات بمثل هذه الدقة . فقد قالوا إن الحالات يجب أن تكون " متساوية الإمكان " " equipossible " ويرجع هذا التعريف إلى المبدأ المشهور الذى أطلقوا عليه اسم " مبدأ السبب غير الكافى " ، فى حين نطلق عليه اليوم اسم " مبدأ عدم التمايز " The Principle of Indifference وهو ذلك المبدأ الذى يقرر أنك إذا كنت لا تعرف أى سبب لحدوث حالة ما ، أكثر من حدوث حالة أخرى ، إذن لكانت الحالات متساوية الإمكان .

بهذه الوسيلة ـ التى عرضنا لها بإيجاز ـ تم تعريف الاحتمال فى المرحلة الكلاسيكية . وبناء عليه تم بناء نظرية رياضية شاملة فى العصر الكلاسيكى . ولكن المسألة الوحيدة التى تهمنا هنا هى ما إذا كان أساس هذه النظرية ـ التعريف الكلاسيكى للاحتمال ـ مناسباً للعلم .

الحقيقة أنه فى غضون القرن التاسع عشر ، علت أصوات قليلة تنتقد التعريف الكلاسيكى . ولكن فى القرن العشرين ، وحوالى عام ١٩٢٠ ، وجه كل من ريتشارد فون ميزس Richard Von Mises ، وهانز ريشنباخ Hans Reichenbach ، انتقادات عنيفة للأطروحة الكلاسيكية . فقد قال ميزس أن " تساوى الإمكان " لا يمكن فهمه إلا بمعنى " تساوى الاحتمال " ، فإذا كان هذا هو معناه ، نكون قد وقعنا حقاً فى دائرة فاسدة . ويؤكد ميزس على أن الكلاسيكية التقليدية إنما توقعنا فى الدور ، ولذلك فهى لا يمكن أن تفيد .

ولا يزال لميزس اعتراض آخر ، فهو يذهب إلى أننا إذا قبلنا ذلك فى حالات بسيطة معينة ، فهل يمكننا فى هذه الحالة أن نركن إلى الحس المشترك commonsense ليخبرنا أن الحوادث المعنية هذه ، متساوية الإمكان ؟ الحقيقة أننا عندما نرمى بعمله ، فإن نتيجة ظهور أحد الوجهين تكون متساوية ، لأننا نعرف أنه ليس ثمة ميل لظهور وجه دون ظهور آخر . وبالمثل فى لعبة الروليت ، فليس هناك سبب لسقوط الكرة فى جزء منها ، أكثر من سقوطه فى آخر . وأيضاً فى لعب الورق ، فإذا كان لورق اللعب نفس الحجم والشكل ، وظهر كل منهما متماثلاً مع الآخر ، وتم خلطه جيداً ( تفنيطه ) ، إذن لكان احتمال توزيع ورقة منها على لاعب ، متساوى تماماً مع لاعب آخر . ومرة أخرى ، شروط تساوى الاحتمال هنا متحققة . ولكن ـ ولا يزال الكلام لميزس ـ لم يوضح لنا أحد من المؤلفين الكلاسيكيين ، كيف يمكن لنا أن نطبق تعريف الاحتمال على مواقف أخرى متعددة فإذا أخذنا بعين الاعتبار جداول الوفيات ، نجد أن شركات

التأمين تعرف نسبة احتمال أن يعيش رجل فى الأربعين من عمره ، فى الولايات المتحدة ، وليس مصاباً بأمراض خطيرة ، أنه سوف يعيش فى نفس التاريخ من العام التالى . ينبغى عليهم أن يكونوا قادرين على حساب احتمالات هذا النوع ، لأنهم بهذا يكونون قادرين على وضع القاعدة التى تقرر الشركة على أساسها فئاتها .

سأل ميزس : ما هى الحالات المتساوية الإمكان بالنسبة إلى هذا الرجل ؟ ويضرب المثال التالى : يطلب السيد سميث Smith تأميناً للحياة ، ترسله الشركة إلى طبيب ، يقرر الطبيب أن سميثاً خال من الأمراض الخطيرة . وتبين شهادة ميلاده أن عمره أربعون عاماً . ترجع الشركة إلى إحصائيات وفياتها . وعلى أساس احتمال حياة الرجل المتوقعة ، تقدم له شهادة تأمين على فئة معينة ، ويمكن للسيد سميث أن يتوفى قبل أن يناهز عمره الواحد والأربعين ، كما يمكنه أن يعيش ليصبح فى عمر المائة . احتمال الحياة بالنسبة له سنة أخرى زيادة ، يقل شيئاً فشيئاً ، لأنه يكبر فى العمر . افترض أنه يتوفى فى عمر الخامسة والأربعين ، هذا شىء سيىء بالنسبة إلى شركة التأمين ، لأنه دفع أقساطا قليلة ، والآن سيدفعون ٢٠ ألف دولار للمنتفعين من تأمينه . أين الحالات المتساوية الإمكان هنا ؟ فالسيد سميث يمكن أن يتوفى فى عمر الأربعين والواحد والأربعين ، والإثنين والأربعين .. وهكذا . فهذه حسابات ممكنة ، ولكنها ليست متساوية الإمكان ، لأن وفاته فى سن المائة والعشرين بعيد الاحتمال إلى حد بعيد .

وأشار ميزس إلى مواقف مماثلة تتعلق بتطبيق الاحتمال على العلوم الاجتماعية ، أو التنبؤ بالطقس ، أو حتى فى الفيزياء . فمثل هذه الحالات لا تشبه ألعاب الصدفة التى تكون النتيجة فيها ممكنة ، ويمكن تصنيفها بدقة إلى ن من الحالات المتبادلة والكاملة تماماً ، بحيث تحقق شرط تساوى الإمكان . أما إذا كان الأمر متعلقاً بجسم صغير من عنصر مشع ، فهو إما أن يصدر فى اللحظة التالية جسيم الألفا ، أو لا يصدر . يذكر الاحتمال أن الجسيم يصدر ٣٧٤ حالة . إذن أين الحالات المتساوية الإمكان هنا ؟ لا يوجد شىء من هذا . إذ لا يوجد لدينا سوى حالتين فقط إما أن يصدر جسيم الألفا فى اللحظة التالية أو لا يصدر . كان هذا هو انتقاد ميزس الرئيسى للنظرية الكلاسيكية .

وعلى الجانب الآخر ، أكد كل من ميزس وريشنباخ أن ما نعنيه حقاً بالاحتمال ليس هو عدد الحالات ، وإنما هو قياس لعلاقة تكرارية نسبية . أما العلاقة " التكرارية المطلقة " ، فإننا نعنى بها العدد الكلى للموضوعات أو الحدوث ، مثل عدد الناس الذين توفوا فى لوس أنجيلوس العام الماضى من مرض التدرن . ولكننا نعنى " بالتكرار النسبى " ، نسبة هذا العدد إلى فئة

أوسع قمنا بفحصها وهى العدد الكلى لسكان لوس أنجيلوس . قال ميزس مثلاً ، إنه يمكننا الكلام عن ظهور وجه معين من رمية زهر ، ليس فقط فى حالة زهر جيد ، حيث تكون النسبة ٦/١ ، وإنما أيضاً فى حالات كل نماذج الزهر . افترض أن شخصاً ما يؤكد أن نسبة احتمال ظهور الواحد فى الزهر الذى يحمله ليس ٦/١ لكنه أقل من ٦/١ . ويقول شخص آخر أعتقد أن احتمال ظهور الواحد أكثر من ٦/١ . أشار ميزس إلى أنه لكى نعلم أن الرجلين معتدلان فى تأكيداتهما المتباينة ، يجب أن ننظر إلى الطريقة التى بها أسسا حكميهما . ولا يتسنى ذلك إلا بإجراء اختبار امبيريقى . سوف يلقيان بزهرة النرد عددا من المرات ، ويسجلان عدد الرميات وعدد الآسات التى تظهر . كم من المرات سيلقيان بالزهر ؟ افترض أنهما ألقيا به ١٠٠ رمية ، ووجد أن الآس ظهر ١٥ مرة . وهذا يقل قليلاً عن ٦/١ الـ ١٠٠ ، ألن يثبت هذا أن الرجل الأول على حق ؟ " كلا " . يمكن أن يعترض الرجل الآخر بقوله " أننى ما زلت على اعتقادى أن الاحتمال أكبر من ٦/١ . فمائة رمية غير كافية لاعتماد الاختبار " وربما يستمر الرجل فى قذف الزهر حتى يصل عدد الرميات إلى ٦ آلاف رمية ، فإذا ظهر الآس أقل من ألف مرة ، سيقر الرجل الآخر بقوله ، " إنك على حق ، إنها أقل من ٦/١ " .. ولكن لماذا توقف الرجل عند الرقم ٦ آلاف ؟ إذا كانت الرميات بعد الـ ٦ آلاف ، فإن عدد الاسات يقترب من الألف ، وعلى هذا الأساس ، فإنهما ينظران إلى المسألة باعتبار أنها لم تحل ، فإن أى احراف بسيط يمكن أن يؤدى إلى المصادفة ، أكثر مما يحدث فى الانحراف فى الاتجاه المضاد ولإجراء اختبار أكثر إحكاماً ، فإن الرجلين سيقرران المضى فى الرمى إلى ٦٠ ألف رمية . وبوضوح ، ليس هناك حد نهائى لعدد الرميات . لأن عدد الرميات مهما كان كبيراً ، ففى اللحظة التى يتوقف عندها الرجلان ، سوف يؤكدان بشكل حاسم على أن احتمال ظهور العدد آس هو ٦/١ أو أقل من ٦/١ أو أكثر من ٦/١ .

وحيث أنه لا يوجد عدد نهائى للاختبارات ، يكون كافياً ليضفى نوعاً من الحتم أو التأكيد على الاحتمال ، فكيف يمكن إذن أن نعرف الاحتمال طبقاً لحدود تكرارية ؟ يؤكد ميزس ، وريشنباخ على أنه يمكن تعريفه ، ليس كعلاقة تكرارية فى سلسلة نهائية ، ولكن كحد من علاقة تكرارية فى سلسلة لا نهائية ( وكان هذا التعريف ، هو الذى ميز وجهة نظر كل من ميزس وريشنباخ ، من وجهة نظر ر. أ. فيشر R.A. Fisher فى إنجلترا ، ورجال إحصاء آخرين ، انتقدوا أيضاً النظرية الكلاسيكية ، وأدخلوا المفهوم التكرارى للاحتمال ليس عن طريق التعريف ، وإنما باعتباره حداً أوليا فى نظام بديهى ) . وبالطبع كان ميزس وريشنباخ يعلمان جيداً أنه لا يمكن أبداً أن يكون فى متناول ملاحظ سلسلة لا نهائية كاملة من الملاحظـــات

المتاحة . ولكننى اعتقد أن انتقاداتهما خاطئة ، وذلك عندما قالا أن التعريف الجديد للاحتمال ليست له تطبيقات . ولقد أشار كل من ريشنباخ وميزس إلى أنه يمكن تطوير عدد من المبرهنات على أساس تعريفهما ، وبمساعدة هذه المبرهنات ، نستطيع أن نقول شيئا ما ذا مغزى . ولا نستطيع أن نقول ما هو الاحتمال المرجح . ففى مثال الزهر نستطيع أن نقول أن احتمال ظهور الآس أكبر بقليل جداً من ٦/١ . وربما يمكن حساب " قيمة هذا الاحتمال . فالوقائع التى تحدد المفهوم تستخدم فى النعريف ، كما أن الاستنتاج يقوم على سلسلة لا نهائية بالتأكيد ، ويسبب تعقيدات وصعوبات لكل من المنطقى والذى يقوم بالاختبار العملى . فهما ، مع ذلك لا يضعان تعريفاً بلا معنى ، كما تؤكد بعض الانتقادات .

ولقد وافق ريشنباخ على وجهة النظر التى تقول أن مفهوم الاحتمال يقوم على تكرار نسبى فى سلسلة لا نهائية ، وأنه المفهوم الوحيد للاحتمال المقبول فى العلم . أما التعرف الكلاسيكى فهو مشتق من مبدأ عدم الاكتراث ، وهو غير مناسب للعلم . وليس ثمة تعريف حديث آخر سوى ذلك التعريف الذي قام بصياغته كل من ميزس وريشنباخ ، ووجد أنه أرقى مـن التعريـف القديم . ولكن برزت مرة أخرى المسألة المزعجة ، وأعنى بها ، الحالات الفردية ، لا شك أن التعريف الحديث مناسب جداً للظواهر الاحصائية ، ولكن كيف يمكن أن ينطبق على حالة فردية ؟ يعلن عالم الأرصاد الجوية أن احتمال سقوط المطر غدا نسبته ٣/٢ . و " غداً " هذا يشير إلى يوم بعينه وليس إلى غيره ، مثل وفاة شخص مؤمن عليه بتأمين على الحياة ، فهو حالة فردية ، حدث لا يتكرر ، ومع ذلك نريد أن ندخله فى الاحتمال . كيف يتسنى لنا فعل ذلك وفقاً للتعريف التكرارى ؟

قنع ميزس بأن ذلك لا يمكن فعله ، واكتفى بأن استبعد الحالات الفردية من القضايا الاحتمالية . أما ريشنباخ فقد كان على بينة من أنه ـ فى العلم ، وفى الحياة اليومية ـ لا مناص من صياغة قضايا احتمالية ـ لحالات فردية . ومن ثم ، لا بد ـ فى رأيه ـ أن نعثر على تفسير مقبول لمثل هذه القضايا . ومن السهل أن نعثر على ضالتنا المنشودة فى مجال التنبؤ بالطقس . فإذا أتيح لعالم أرصاد جوية الاطلاع على عدد كبير من التقارير التى تتحدث عن حالة الطقس فى الماضى . فإن ذلك يزوده بمعلومات عن حالة الطقس اليوم . وتبين له أن طقس اليوم ينتمى إلى فئة معينة ، وأنه فى الماضى ، عندما حدث طقس هذه الفئة ، فإن التكرار النسبى لسقوط المطر فى اليوم التالى كان ٣/٢ . ومن ثم نجد أن عالم الأرصاد الجوية ـ طبقاً لريشنباخ ـ يقوم بعمل " ترجيح " " a posit " ، وذلك لأنه يفترض أن التكرار للـ ٣/٢ ، يقوم على سلسلة

نهائية من الملاحظات ، ولكنها سلسلة طويلة نسبياً ، وهى أيضاً حد من سلسلة لا نهائية . وبكلمات أخرى ، نراه يقدر الحد بالمقدار التقريبى ٣/٢ . وبالتالى نجده يسوغ القضية : " احتمال سقوط المطر غداً ٣/٢ " .

ويؤكد ريشنباخ على أن عبارة عالم الأرصاد الجوية موجزة . أما إذا أراد توسيعها لتعطى معنى كاملاً فإنه يقرر : " بناء على ملاحظاتنا الماضية ، فإن حالة الطقس اليوم تهيىء سقوط المطر فى اليوم التالى بنسبة تكرارية تساوى ٣/٢ " . وتبدو القضية المختزلة كما لو أنها تطبق الاحتمال على حالة فردية ، ولكن ذلك يرجع فقط إلى طريقة الحديث . وحقيقة أن العبارة تشير إلى تكرار نسبى فى سلسلة طويلة ، وأن العبارة ، " فى الرمية التالية للزهر ، فإن احتمال ظهور الآس يساوى ٦/١ " صادقة بالمثل . إذ أن " الرمية التالية " مثل " الطقس غداً " كلاهما حادث منفرد ، ووحيد . وعندما نعزو احتمالاً لها ، فإننا نتحدث حقيقة بإيجاز عن تكرار نسبى فى سلسلة طويلة من الرميات .

وبهذه الطريقة ، عثر ريشنباخ على تفسير للقضايا الاحتمالية التـــى تنسب إلى أحداث فردية . وحاول أيضاً أن يعثر على تفسير للقضايا التى تعزو الاحتمال إلى فروض عامة فى العلم . غير أننا لن نخوض فى هذا الموضوع هنا ، لأنه موضوع شديد التعقيد ، ولأنه ( على العكس من تفسيره للتنبؤات الاحتمالية الفردية ) لم يحظ بقبول عام فى محاولته هذه .

أما التطور الهام التالى فى تاريخ نظرية الاحتمال ، فقد كان عن نشأة المفهوم المنطقى ، وهو ذلك المفهوم الذى اقترحه الاقتصادى البريطانى الشهير جون مايناردكينز بعد عام ١٩٢٠ . واليوم يثار جدل نشيط بين هؤلاء الذين يؤيدون المفهوم المنطقى ، وهؤلاء الذين يفضلون التفسير التكرارى . والفصل التالى سوف يعرض لهذا الجدل ، والطريقة التى اعتقد أنها تسهم فى حل هذه الإشكالية .

***

## الفصل الثالث

# الاستقراء والاحتمال المنطقى

كان الاحتمال ـ طبقاً لجون ماينرد كينز Johnm Maynard Keynes علاقة منطقية بين قضيتين . ولم يحاول كينز تعريف هذه العلاقة . بل نراه يذهب أبعد من ذلك بقوله إنه لا يمكن حتى وضع صياغة لتعريفه . ولكنه يصر على أنه بالحدس وحده يمكننا فهم معنى الاحتمال . وذكر فى كتابه " مقال فى الاحتمال " " Treatise On Probablitity " بديهيات وتعريفات قليلة ، مصاغة فى قالب منطقى ، ولكن ليس لها تأثير قوى على وجهة النظر الحديثة . فبعض مسلمات كينز هى فى الواقع تعريفات . وبعض تعريفاته هى فى الحقيقة مسلمات . ولكن كتابه مثير من وجهة النظر الفلسفية ، وبصفة خاصة فى تلك الفصول التى تتناول تاريخ نظرية الاحتمال ، وما قد يفيدنا اليوم من وجهات النظر المبكرة للاحتمال . وكان كل تركيزه منصباً على أنه عندما نصوغ قضية احتمالية ، فإننا لا نصوغ قضية عن العالم ، بل إننا نصوغها فقط عن علاقة منطقية بين قضيتين أخريين . إننا نقول فقط أن قضية ما لها خاصية الاحتمال المنطقى عن الشىء الفلانى إلى درجة كذا بالنسبة إلى قضية أخرى .

وأنا استخدم العبارة " إلى درجة كذا " قاصداً ، لأن كينز كان شديد الحذر ، فقد كان يشك بوجه عام أن الاحتمال يمكنه أن يضع تصوراً عادياً ، أى تصوراً ذا قيم عددية . وقد وافق بالطبع ، على أن ذلك يمكن أن يتحقق فى حالات خاصة ، مثل رمى زهر ، الذى ينطبق عليه مبدأ عدم الاكتراث . فالزهر متناسق الأجزاء ، وجوهه متشابهة ، وليس هناك ما يدعونا إلى الشك فى أنه مشحون بشىء ما ، وهكذا . ونفس الشىء ينطبق على ألعاب الصدفة الأخرى ، التى تنظم بعناية لاحداث تماثل فيزيائى ، أو على الأقل ، تماثل من جهة معارفنا ، وجهلنا . فعجلات الروليت مصنوعة بحيث تكون قطاعاتها الدائرية متساوية . فالعجلة موزونة بعناية لتمنع أى إنحراف يمكن أن يسبب توقف الكرة على عدد دون آخر . وإذا ضرب شخص ما عملة معدنية بأظفره فلن يكون هناك ما يدعونا إلى توقع ظهور وجه دون آخر .

وقال كينز ، أنه فى الحالات المحددة التى من هذا النوع ، يحق لنا أن نطبق التعريف

الكلاسيكى للاحتمال . واتفق مع نقاد مبدأ عدم الاكتراث ، ذلك المبدأ الذى استخدم بمعنى واسع جداً فى الفترة الكلاسيكية ، والذى كان من الخطأ تطبيقه على مواقف متعددة ، كالتنبؤ بأن الشمس سوف تشرق غداً . ويذهب إلى أن مبدأ عدم الاكتراث مناسب فقط لألعاب الصدفة وبعض المواقف الأخرى البسيطة التى يمكن أن نعطى لها قيمة احتماليه عددية . أما فى معظم الحالات ، فليس لدينا الوسيلة التى بها نصل إلى تعريف الحالات المتساوية الإمكان ، ولذلك فلا مبرر لتطبيق هذا المبدأ . ويقرر كينز أنه لا ينبغى علينا ، فى مثل هذه الحالات أن نستخدم قيماً عددية . كان موقفه حذرا متشككاً ، ولم يرد أن يذهب أبعد من ذلك ، ومن ثم نراه لم يتوسع فى الجزء العددى من نظريته . وحتى فى المواقف المتعددة التى لا نتردد فى اعتبارها شكلا من أشكال الرهان الذى يمكن أن ينتظم قيماً عددية ، نجد كينز يحذرنا من هذه التجربة .

والشكل الثانى الهام فى نشأة الاحتمال المنطقى الحديث كان على يد هارولد جيفرز Har-old Jeffreys الجغرافى الطبيعى الإنجليزى . نشرت جامعة اكسفورد عام ١٩٣٩ نظريته فى الاحتمال لأول مرة ، وفيها يدافع عن تصور قريب جداً من تصور كينز . عندما نشر كينز كتابه ( الذى ظهر عام ١٩٢١ ومن المحتمل أن يكون كتبه عام ١٩٢٠ ) ظهرت أيضاً الطبعات الأولى لنظريات ميزس وريشنباخ فى الاحتمال . ومن الواضح أن كينز لم يطلع عليها . وعلى الرغم من أنه انتقد النظريات التكرارية إلا أنه لم يناقشها بالتفصيل . وفى هذا الوقت كتب جيفرز كتابه ، وهو الوقت الذى بلغ فيه التفسير التكرارى أوجه ، لذا نجد الكتاب يتناول بالشرح هذه القضية .

قرر جيفرز بوضوح أن النظرية التكرارية خاطئة بشكل كامل ، وأكد وجهة نظر كينز التى يقرر فيها الابتعاد عن النظرية التكرارية والأخذ بالعلاقة المنطقية . وكان بذلك أكثر جرأة من كينز الحذر . اعتقد أن القيم العددية يمكن تحديدها احتمالياً فى عدد ضخم من المواقف ، وبصفة خاصة فى كل المواقف التى يطبقها الإحصاء الرياضى . وأراد أن يتعامل مع نفس المشكلات التى اهتم بها ر. أ. فيشر وغيره من الاحصائيين . ولكنه أراد التعامل معها من منطلق تصور مختلف للاحتمال لأنه استخدم مبدأ عدم الاكتراث . وإننى اعتقد أن بعضاً من نتائجه فتحت عليه نفس الاعتراضات التى سبق أن واجهت النظرية الكلاسيكية . وعلى أية حال ، من الصعوبة أن نجد قضايا معينة فى كتابه يمكن أن تتعرض للنقد . فبديهياته موضوعية الواحدة بعد الأخرى ، وهى مقبولة . ولكن عندما يحاول أن يشتق مبرهنات من مسلمة معينة فهو ، فى رأيى ، يضل .

المسلمة التى يذكرها جيفرز على النحو التالى : " نحدد العدد الأكبر فى المعطيات المتاحة للقضية التى يكون احتمالها أكبر ( ولذلك فالأعداد المساوية للقضايا المحتملة بالمثل " . يقرر الجزء داخل الأقواس بوضوح أنه إذا كانت ن ، هـ متساويتين فى درجة الاحتمال طبقاً لقاعدة البينه on the basis of evidence " و " " ، إذن فالأعداد المتساوية تحدد القيمة الاحتمالية لـ ن ، هـ على أساس برهان " و " . لا تخبرنا القضية بشىء عن الحالات التى نلاحظ بها ن ، هـ متساوية فى الاحتمال مع و . ولم يذكر جيفرز فى أى مكان من كتابه قضية تشير إلى تلك الحالات . وأخيراً ، لكى يقيم مبرهنات للقوانين العلمية ، نراه يشرح هذه المسلمة بطريقة غاية فى العجب . إذ كتب يقول : " إذا لم يكن هناك ما يدعونا إلى الاعتقاد فى ظاهرة أكثر من أخرى ، إذن فلا بد أن تكون الاحتمالات متساوية " . وبكلمات أخرى . إذا لم نحز على شواهد مرضية لاعتبار نظرية ما صادقة أو كاذبة ، إذن علينا أن نحسب احتمال صدق هذه النظرية بنسبة ١/٢ .

أيكون هذا استخداماً شرعياً لمبدأ عدم التمايز ؟ فى رأيى ، هذا الاستخدام تم القضاء عليه نهائياً من قبل منتقدى النظرية الكلاسيكية . فإذا كان ولا بد من استخدام مبدأ عدم التمايز ، فيجب توافر شىء من التماثل فى الموقف ، مثل تساوى أوجه الزهر ، أو تساوى القطاعات الدائرية لعجلة الروليت ، ذلك الأمر الذى يمكننا من القول أن هناك حالات معينة متساوية الاحتمال . وفى غياب مثل هذه التماثلات فى الموضوعات الفيزيائية أو المنطقية لموقف ما ، فلا يسوغ لنا على الإطلاق أن نفترض احتمالات متساوية ، لأننا لا نعرف أى شىء عن العلاقة التقديرية للظواهر المتناظرة .

ونوضح هذا بتوضيح بسيط . طبقاً لتوضيح جيفرز لبديهيته ، يمكننا أن نفترض احتمال وجود كائنات حية على كوكب المريخ بنسبة ١/٢ ، لأننا لا نملك الدليل الكافى على نفى اعتقادنا هذا . وبنفس الطريقة يمكننا أن نفترض وجود الحيوانات بنسبة ١/٢ ، ووجود كائنات إنسانية بنسبة ١/٢ على كوكب المريخ . كل تأكيد ، يصدق فى حد ذاته ، وهو تأكيد على أننا لا نملك الدليل القاطع بانباع أحدهما دون الأخر . لكن هذه التأكيدات يرتبط كل منها بالآخر من جهة عدم إمكان الحصول على نفس القيم الاحتمالية . فالتأكيد الثانى يكون أقل احتمالاً من الأول . وتنعقد نفس العلاقة بين الثالث والثانى .

ولقد تعرض كتاب جيفرز للانتقاد بعنف من قبل الاحصائيين الرياضيين ، وإننى أتفق مع

انتقاداتهم فى مواضع قليلة نجد فيها جيفرز يطور مبرهنات لا يمكن اشتقاقها من بديهياته . ومن جهة أخرى ، يمكننى القول أن كلا من كينز وجيفرز قد مهد الطريق الذى أدى فى النهاية إلى الاتجاه الصحيح .

ونظريتى فى الاحتمال تسير فى نفس هذا الاتجاه ، فإننى أشاطرهم الرأى فى أن الاحتمال المنطقى علاقة منطقية . فإذا كنت تصوغ قضية تقرر أنه بالنسبة لغرض ما ، يكون الاحتمال المنطقى فيه ٧ ، طبقاً لبنية ما ، إذن فالقضية الكلية ، قضية تحليلية . ومعنى هذا أن القضية تنتج من تعريف الاحتمال المنطقى ( أو من بديهيات نسق منطقى ) دون الرجوع لأى شىء من خارج النسق المنطقى ، وبمعنى آخر ، دون الإشارة إلى بناء العالم الخارجى .

وفى تصورى ، أن الاحتمال المنطقى هو علاقة منطقية تشبه إلى حد ما علاقة تضمـن منطقى . فإذا كانت البينة تشير بقوة إلى أن الغرض نتج منطقياً منها ، فهو متضمن منطقياً منها ـ إننا فى حاجة إلى حالة واحدة قصوى يكون الاحتمال فيها بنسبة واحد ( والاحتمال واحد يحدث أيضاً فى حالات أخرى ، ولكن هذه حالة خصوصية عارضة ) . وبالمثل إذا كان هناك نفى لغرض متضمن منطقياً عن طريق البينة ، يكون الاحتمال المنطقى للغرض فيه صفر . ويوجد بينهما استمرارية للحالات بحيث لا يخبرنا المنطق الاستقرائى بأى شىء خلف التأكيد المنفى بحيث لا يستنبط الغرض ولا نفيه من البينة . ينبغى أن يضطلع المنطق الاستقرائى مثله فى ذلك مثل المنطق الاستنباطى يتعلق فقط بالقضايا المتضمنة ، ولا يتعلق بحقائق الطبيعة . فعن طريق التحليل المنطقى لغرض معين " ف " وبينة معينة " ب " ، فإننا نستنتج أن " ف " ليس متضمناً منطقياً ، ولكنه ، هكذا نقول ، متضمناً جزئياً ، وإلى درجة كبيرة فى " ب " .

عند هذه النقطة ، بررنا ، من وجهة نظرنا ، تحديد القيمة العددية للاحتمال وإذا أمكن ، فإننا نرغب فى بناء نسق للمنطق الاستقرائى يتكون من زوجين من القضايا . تؤكد الأولـى البينة ب و وتشير الأخرى للغرض ف ، فنتمكن من تحديد عدد للاحتمال المنطقـى ف من جهة ب . ( إننا لا نفترض الحالة الجزئية التى تكون فيها القضية ف متناقضة . ففى مثل هذه الحالات لا نستطيع تحديد قيمة احتمالية ( ف ) . لقد نجحت فى تطوير تعريفات ممكنة لمثل هذه الاحتمالات بالنسبة للغات بسيطة جداً تشتمل على رتبة واحدة فقط من التنبؤات . والعمل يتقدم الآن لتوسيع النظرية بحيث تشمل أكثر اللغات شمولاً . وبالطبع إذا كان المنطق الاستقرائى كله ، الذى أحاول تشييده على أساس هذه القاعدة له قيمة حقيقية للعلم ، فهو فى النهاية

سيكون قادراً على تكوين لغة ذات طابع كمى ، كتلك التى نجدها فى الفيزياء ، والتى فيها لا تكون هناك رتبة واحدة فقط للتنبؤات ، وإنما يكون لها مقادير عددية مثل الكتلة ، ودرجة الحرارة ، وهكذا . اعتقد أن هذا ممكن وأن المبادىء الأساسية المشتملة عليها هى نفس المبادىء التى أرشدتنا إلى العمل فى تشييد المنطق الاستقرائى بالنسبة للغة بسيطة ذات رتبة واحدة للتنبؤات .

وعندما أقول ، أننى اعتقد أنه من الممكن أن نطبق المنطق الاستقرائى على لغة العلم ، فإننى لا أعنى بذلك أنه بإمكاننا أن نصوغ مجموعة من القواعد نقررها مرة واحدة وإلى الأبد . ، وأن ذلك سوف يؤدى ، بشكل آلى ، وفى أى مجال ، إلى المضى من الحقائق إلى النظريات . إذ من المشكوك فيه ، مثلاً ، أن نقوم بصياغة قواعد تمكن العالم الفيزيائى من معاينة مائة ألف قضية تقرر أشياء مختلفة يمكن ملاحظتها ، وعندئذ ، يتمكن من وضع نظرية عامة ( نسق من القوانين ) يفسر بها هذه الظواهر الملاحظة ، عن طريق التطبيق الآلى لتلك القواعد . هذا مستحيل بالطبع ، لأن النظريات وبصفة خاصة الأكثر تجريداً منها والتى تتعامل مع أشياء غير مرصودة مثل الجسيمات أو المجالات الكهرومغناطيسية ، تستخدم إطاراً تصورياً يمضى بعيداً وراء الإطار المستخدم لوصف المادة الملاحظة ، ولا يستطيع المرء ببساطة أن يتبع إجراء آلياً معتمداً على قواعد مقررة ليستخرج منها نسقاً جديداً من المفاهيم النظرية ، وبمساعدة هذه المفاهيم يتوصل إلى نظرية . إن ذلك يتطلب براعة خلاقة . ويتم التعبير عن هذه النقطة فى بعض الأحيان بالقول إنه لا يمكن أن يكون هناك استقراء آلى ـ آلة حاسبة ندفع فيها كل القضايا الملاحظة المناسبة ، ونحصل ، كنتائج لذلك ، على نسق مرتب من القوانين التى تفسر الظواهر الملاحظة .

إذن فإننى أوافق على وجهة النظر التى تقول إنه لا يمكن وجود استقراء آلى وخاصة إذا كان هدف الآلية هو اختراع نظريات جديدة . ولكننى أعتقد ، مع ذلك ، إمكانية وجود مثل هذا الاستقراء الآلى ، ولكن بالنسبة لهدف أكثر تواضعاً من ذلك . هناك ملاحظات معينة متاحة ولتكن م ، وفرض علمى وليكن ف ( وليكن فى صورة تنبؤ أو حتى مجموعة من القوانين ) . إذن ، فإننى اعتقد أنه فى حالات كثيرة ، يمكن أن نحدد ، بإجراءات آلية ( ميكانيكية ) الاحتمال المنطقى ، أو درجة التأييد لـ ف على أساس م . أننى استخدم أيضاً المصطلح : الاحتمال الاستقرائى " لهذا المفهوم من الاحتمال ، لأننى مقتنع أن هذا هو المفهوم الأساسى الذى يشتمل على كل تحليل استقرائى ، وأن المهمة الرئيسية للتحليل الاستقرائي إنما هى تقييم

هذا الاحتمال .-

وإذا ألقينا بنظرة متفحصة على الموقف الحالى فى نظرية الاحتمال ، لوجدنا أن هناك خلافاً بين المدافعين عن النظرية التكرارية ، والقائلين بأن الاحتمال منطقى مثلى وكينز ، وجيفرز . كما أننا نجد أيضاً خلافاً بين موقفى وموقف كل من كينز وجيفرز . فهما يعترضان على المفهوم التكرارى للاحتمال ، ونحن لا نعترض . فأنا اعتبر المفهوم التكرارى ، ويسمى أيضاً الاحتمال الاحصائى ، مفهوماً علمياً جيداً ، لأنه يقوم على تعريف بسيط ، كما فى نسق ميزس وريشنباخ ، أو يقوم على نظام وأحكام بديهية للتطبيقات العملية ( دون وضع تعريف قاطع ) كما هو الحال عند الاحصائيين الرياضيين المعاصرين ، وألاحظ - فى كل موقف من هذين الموقفين - أنه يقدم مفهوماً هاماً للعلم - ففى رأيى أن المفهوم المنطقى للاحتمال ، هو مفهوم ثانٍ ، لطبيعة مختلفة تماماً ، ولكنه ، مع ذلك ، متساو فى الأهمية .

فالقضايا التى تعطى قيماً للاحتمال الاحصائى ليست منطقية خالصة ، ولكنها قضايا واقعية فى لغة العلم . فعندما يقول الطبيب أن احتمال رد الفعل الإيجابى لتأثير حقنة معينة فى مريض ، " جيد جداً " ( أو ربما يذكر قيمة عددية معينة مثل العدد ٧ ) ، فهو يصوغ قضية فى العلم الطبى . وعندما يقول عالم إن لظاهرة معينة نشاطاً اشعاعياً بدرجة مرتفعة ، فهو يصوغ قضية فى الفيزياء . إذن فالاحتمال الاحصائى ، احتمال علمى ، ومفهوم تجريدى ، وقضايا الاحتمال الاحصائى ، قضايا " تركيبية " ، أى أنها قضايا لا يمكن صياغتها عن طريق المنطق ، وإنما تصاغ استناداً لأبحاث تجريبية . وعند هذه النقطة فاننى اتفق مع ميزس وريشنباخ والاحصائيين الآخرين . إذ إننا نقول : " إن هذا الزهر ، عند قذفه ، أظهر " الآس " ١٥٧ مرة باستخدامنا للاحتمال الاحصائى " ، فإننا فى الحقيقة نقرر ظاهرة علمية ، أمكن اختبارها عن طريق سلسلة من الملاحظات . وهى قضية أمبيريقية ، لأنه يمكن التحقق منها عن طريق بحث امبيريقى فقط .

ومع تطور العلم ، تزداد أهمية هذا النوع من القضايا الاحتمالية ، ليس فقط بالنسبة للعلوم الاجتماعية ، وإنما أيضاً بالنسبة للفيزياء الحديثة . فلم يعد الاحتمال الاحصائى ضرورياً فى المجالات التى نجهلها فحسب ، ( كما هو الحال فى العلوم الاجتماعية أو عندما يحسب عالم فيزيائى مسار جزىء فى سائل ) ، وإنما يدخل أيضاً باعتباره عاملاً ضرورياً فى المبادىء الأساسية لنظرية الكم . وعليه فقد بات من الضرورى بالنسبة للعلم أن يستعين بنظريات

الاحتمال . ولقد قام بتطوير هذه النظريات جماعة من الاحصائيين ، كما عنى بتطويرها أيضاً ـ ولكن بطريقة مختلفة ـ كل من ميزس وريشنباخ .

ومن ناحية أخرى ، نشعر أننا فى حاجة أيضاً إلى مفهوم الاحتمال المنطقى ، لأنه مفيد ، وبصفة خاصة فى القضايا ما وراء العلمية metascientific ، وهى تلك القضايا التى تدور حول العالم . زبادر عالم بقولى : " أنك تخبرنى أنه يمكننى أن أعتمد على هذا القانون لإجراء تنبؤ معين ، فكيف تأسس هذا القانون بشكل ملائم ؟ وكيف أثق فى التنبؤ ؟ قد يكون فى مقدور عالم اليوم ، أو قد لا يكون فى مقدوره أن يجب على هذا السؤال ماوراء العلمى فى حدود كمية . ولكننى اعتقد أن المنطق الاستقرائى قد تقدم بشكل مرضى . ففى مقدوره الإجابه بأن " هذا الفرض مثبت بدرجة ٨ ، بناء على قاعدة البينة النافعة avaiable evidence " . إن العالم الذى يدلى بإجابة بهذه الطريقة إنما هو يقرر قضية بشأن علاقة منطقية بين البينة والفرض العلمى بهذا الخصوص . ونوع الاحتمال الذى استخدمه هنا ، احتمال منطقى ، وهو ما أدعوه أيضاً " بدرجة الاثبات " ، فقضيته هذه التى يقرر فيها أن قيمة هذا الاحتمال ٨ ، وفى هذا السياق ، ليست قضية تركيبية ( أمبيريقية ) ، وإنما هى قضية تحليلية . وهى تحليلية لأننا لسنا فى حاجة إلى بحث امبيريقى . فهى تعبر عن علاقة منطقية بين جملة تذكر البينة ، وجملة تذكر الفرض العلمى .

لاحظ أنه ، فى حالة صياغة قضية تحليلية ، من الضرورى أن نعين البينة بوضوح ، إذ لا ينبغى أن يقول العالم : " أن لهذا الفرض ، احتمالاً بنسبة ٨ " . ولكن عليه أن يضيف " من جهة البينة كيت وكيت " وإذا لم يضف هذا . فإن قضيته هذه تؤخذ باعتبارها قضية احتمال احصائى . فإذا كانت نيته متجهة إلى اعتبارها قضية احتمال منطقى ، إذن فهــى قضية تقديرية ، افتقرت إلى مركب هام ، ففى نظرية اكم ، مثلاً ، يصعب علينا أن نعرف إذا ما كان العالم يقصد الاحتمال الاحصائى أم الاحتمال المنطقى . فالعلماء عادة لا يضعون خطاً فاصلاً بينهما . إذ نراهم يتكلمون عن تصور واحد فقط للاحتمال يأخذون به فى عملهم . وربما يقولون " نوع الاحتمال الذى نعنيه ، هو الذى يحقق لنظرية الاحتمال ، يتم تحقيقها بكلا المفهومين . ومن ثم نجد أن هذه الملاحظة ، لم توضح مسألة نموذج الاحتمال الذى يعنونه بدقة . وهذا اللبس نجده أيضاً فى قضايا لابلاس ، وآخرين ممن قاموا بتطوير المفهوم الكلاسيكى للاحتمال . إذ لم يتسنى لهم معرفة ـ كما نعرف اليوم ـ الاختلاف بين الاحتمال المنطقى والاحتمال التكرارى . ولهذا السبب لم يكن فى مقدورنا أن نقرر أى المفهومين كانوا يعنون . ومع هذا فإننى مقتنع

أنهم كانوا يعنون ـ فى الغالب ، وليس دائماً ـ المفهوم المنطقى ، وفى رأيى ، لم يقم ميزس والتكراريون الآخرون بتصحيح الانتقادات المحددة التى كالوها للمدرسة الكلاسيكية ، إذ نجد ميزس يعتقد أنه ليس ثمة مفهوم علمى آخر للاحتمال سوى المفهوم التكرارى . وعليه فقد افترض أن الكتاب الكلاسيكيين لم يقصدوا بالاحتمال أى شىء آخر سوى الاحتمال الاحصائى . وبالطبع لم يكن فى مقدورهم أن يعلنوا بوضوح وجلاء أنهم يقصدون العلاقة التكرارية فى سلسلة طويلة ، ولكن هذا هو بالضبط ـ طبقاً لما يذهب إليه ميزس ـ ما كانوا يرمون بصياغة قضايا معينة عن احتمال قبلى a priori إنما كانوا يتحدثون فى الحقيقة عن الاحتمال المنطقى ، لأنه تحليلى ، والتحليلى عندهم كان معروفاً بأنه قبلى . ولا أنظر إلى هذه القضايا ـ كما فعل ميزس وريشنباخ ـ بوصفها انتهاكات للمذهب الامبيريقى " empiricism " .

ويجدر بى أن أذكر كلمة تحذير ، وهى أننى بعد أن عبرت عن وجهة نظرى فى كتابى الذى يتناول الاحتمال ، أشار عدد من الزملاء ـ وبعضهم أصدقاء لى ـ إلى اقتباسات معينة لمؤلفين كلاسيكيين ، وقالوا أن الاحتمال المنطقى لا يمكن أن يكون هو نفسه الذى كان فى ذهن هؤلاء المؤلفين . وأننى لأتفق مع هذا الرأى لأن الكتاب الكلاسيكيين لم يقصدوا بها الاحتمال التكرارى ، ومع ذلك ، فإننى مقتنع أن مفهومهم الأساسى كان الاحتمال المنطقى . واعتقد أن هذا متضمن حتى فى عنوان أول كتاب منهجى فى هذا المجال ، وأعنى به كتاب جاكوب بيرنوى Ars conjectandi الذى هو فن التخمين . ولم تكن نظرية ميزس فى الاحتمال فن التخمين ، بل كانت بديهية مصاغة بشكل رياضى لظواهر الكتلة ولم يكن هناك شىء يتطلب تخمينا . ولكن ما قصده بيرنوى كان شيئاً مختلفاً تماماً لأنه قال عند مشاهدتنا لحوادث معينة كتلك التى نشاهدها عند سقوط زهر ، فإننا نخمن الطريقة التى سوف يسقط بها الزهر إذا قذفناه مرة أخرى ، أو الطريقة التى نجرى بها مراهنات معقولة . إذن الاحتمال بالنسبة للكتاب الكلاسيكيين كان درجة من التأكيد أو الثقة بأن اعتقاداتنا قد تتحقق فى الحوادث المستقبلية . وهذا النوع من الاحتمال ، احتمال منطقى وليس احتمالاً بالمعنى الاحصائى .

ولن أمضى إلى تفصيلات أكثر هنا عن وجهة نظرى فى الاحتمال ، لأن ذلك سوف يضطرنى إلى الدخول فى تعقيدات تقنية ، ولكنى سوف أناقش استدلالاً واحداً ربما ينجح فى الوصول إلى ضم مفهومى الاحتمال معاً . ويحدث هذا عندما يشتمل الفرض أو واحدة من مقدمات الاستدلال الاستقرائى على مفهوم الاحتمال الاحصائى . ويمكننا أن نرى هذا بسهولة عن طريق تعديل المنهج الأساسى المستخدم فى مناقشتنا للقوانين الكلية . فبدلاً من القانون الكلى (١) نأخذ

القانون الاحصائى (١َ) بوصفه مقدمة أولى ، تقرر أن التكرار النسبى ( ت س ) للقضية ك من جهة القضية ق تساوى ٨ر٠ ، وتقرر المقدمة الثانية (٢) أن الحادث الفردى المعين ٱ له الخاصية ق . وتؤكد القضية (٣) على أن لـ أ الخاصية ك . وتعد القضية الثالثة ق أ بمثابة فرضية نرغب فى افتراضها على أساس المقدمتين .

وصورتها الرمزية على هذا النحو :

(١َ) ت س ( ك ، ق ) = ٨ر٠.

(٢) ق أ

(٣) ك أ

ماذا نقول عن العلاقة المنطقية (٣) بالنسبة إلى (١َ) و (٢) ؟ فى الحالة السابقة ـ حالة القانون الكلى ـ استطعنا أن نصوغ القضية المنطقية التالية :

(٤) القضية (٣) متضمنة منطقياً فى (١) و (٢)

ولا يمكننا أن نصوغ مثل هذه القضية بالنسبة إلى المنهج المفترض عاليه ، لأن المقدمة الجديدة (أ) أضعف من المقدمة السابقة (١) ، فهى تذكر تكراراً نسبياً وليس قانوناً كلياً . ومع ذلك يمكننا أن نصوغ القضية التالية ، التى تؤكد أيضاً على علاقة منطقية ، ولكن فى حدود الاحتمال المنطقى أو درجة التأييد وليس فى حدود التضمن :

(٤َ) القضية (٣) على أساس (١َ) و (٢) ، الاحتمال فيها بنسبة ٨ر٠

لاحظ أن هذه القضية ، مثلها فى ذلك مثل القضية (٤) ليست استدلالاً منطقياً من (١َ) و (٢) . وإنما تنتمى (٤) (٤َ) إلى ما يمكن أن نطلق عليه اسم " ماوراء اللغة " a metalan-guage " ، وهى قضايا منطقية عن ثلاثة تقديرات : (١) ( أو (١َ) ، على الترتيب ) و (٢) و (٣) .

وضرورى أن نفهم بدقة ما نعنيه بقضية مثل أن " الاحتمال الاحصائى لـ هـ من جهة ن تساوى ٨ر٠ " إذ أن العلماء عندما يصوغون مثل هذه القضايا ، فإنهم يتحدثون عن الاحتمال بالمعنى التكرارى ، ولا يتضح دائما ما يعنونه بدقة من كلمة تكرارى . هل هو تكرارى لـ هـ فى المثال السابق ؟ أم هو اكرارى لـ هـ فى مجموعة من السكان نبحثها ؟ أم هو تقدير estimayte للتكرارى فى مجموعة السكان ؟ لو أن عدد الحالات الملاحظة فى المثال كبيرة جداً ، إذن لما

اختلف بدرجة كبيرة تكرارى هـ فى المثال السابق ، عن تكرار هـ فى مجموعة السكان ، عن تقدير هذا التكرارى . ومع ذلك لابد أن نحتفظ فى ذهننا بالتمييز النظرى المتضمن هنا .

افترض أننا نرغب فى أن نعرف النسبة المئوية لمائة ألف رجل يسكنون مدينة معينة ، يحلقون بآلة حلاقة كهربية . وتقرر للمسألة ألف رجل منهم ، ولتجنب الانحراف فى مثالنا ، يجب أن نختار الألف رجل ممن يعملون فى حقل تكنيكى حديث . افترض أننا حصلنا على نموذج لا ينحرف ، وكان مقداره ٨٠٠ رجل يستخدمون الموسى الكهربى . ومن ثم فإن التكرار النسبى هنا يساوى ٨ر٠ ولأن ألف رجل ، عدد كبير ومناسب فى مثالنا ، فينبغى أن نحسب الاحتمال الاحصائى لهذه الخاصية فى المجموعة الكلية للسكان ، وهى تساوى هنا ٨ر٠ والكلام الدقيق أن هذا الحساب ليس مضموناً . فقط قيمة التكرار فى المثال معروفة ، أما قيمة التكرار فى المجموعة فهى غير معروفة . وأفضل ما يمكننا فعله هو تقدير التكرار فى المجموعة . هذا التقدير لا ينبغى أن يكون ملتبساً مع قيمة التكرار فى المثال . وعلى العموم مثل هذا التقديرات يجب أن تنحرف فى اتجاه معين من التكرار النسبى فى المثال .

افترض أن (١) معروفة وهى : الاحتمال الاحصائى لـ ك من جهة ق ، وتساوى ٨ر٠ ( كيف يتسنى لنا معرفة أن هذه المسألة ليست فى حاجة إلى البحث . ينبغى أن نجرى اختباراً على المجموع الكلى للسكان الذى هو مائة ألف رجل ، وذلك عن طريق مقابلة كل رجل فى المدينة ) . وقضية هذا الاحتمال بالطبع ، قضية امبيريقية . افترض أيضاً أن المقدمة الثانية معروفة : (٢) ق أ . نستطيع الآن أن تصوغ القضية (٤) التى تقرر أن الاحتمال المنطقى لـ (٣) ك أ ، من جهة المقدمتين (١) ، (٢) يساوى ٨ر٠ . ومع ذلك إذا كانت المقدمة الأولى ليست احتمالاً احصائياً ، ولكنها قضية تكرار نسبى ، إذن لكان ينبغى علينا أن نضع فى الحسبان حجم المثال . ويمكننا أن نحسب الاحتمال المنطقى ، أو درجة التأييد المعبر عنه فى القضية (٤) ، ولن يكون فى هذه الحالة ٨ر٠ تماماً ، ولكنه سوف ينحرف عن ذلك ( بطريقة سبق لى أن عرضتها فى رسالة صغيرة لى بعنوان " استمرارية المناهج الاستقرائية " " The Continnum of Inductive Methods " ( ١٩٥٢ ) ، وقمت فى هذه الرسالة بتطوير عدد من التقنيات لتقدير التكرار النسبى على أساس الأمثلة الملاحظة ) .

وعندما يجرى استدلال استقرائى بهذه الوسيلة ، أى من مثال إلى مجموعة من السكان ، أو من مثال واحد إلى مثال مستقبلى غير معلوم ، أو من مثال واحد إلى حالة مستقبلية غير

معلومة ، فإننى اتحدث عنه بوصفه " استدلالا احتماليا غير مباشر " أو " استدلالا استقرائيا غير مباشر " ، وذلك لتمييزه عن الاستدلال الاستقرائى الذى يمضى من مجموعة من السكان إلى مثال أو حالة واحدة . وكما سبق لى القول ، لو أن معرفة الاحتمال الاحصائى الفعلى فى مجموعة السكان ، كان متاحاً فى (١) ، إذن لكان فى مقدرونا أن نقرر فى (٤) نفس القيمة العددية التى قررناها لدرجة التأييد . ومثل هذا الاستدلال لا يكون استنباطاً ، ولكنه يحتل موقعاً متوسطاً من بين الأنواع الأخرى من الاستدلالات الاستقرائية والاستنباطية . أطلق عليه بعض الكتاب اسم " استدلال الاحتمال الاستنباطى " ولكننى أفضل أن اتحدث عنه بوصفه استقرائيا أكثر منه استنباطى . لأنه عندما يكون لدينا احتمال احصائى عن مجموعة من السكان ، ونرغب فى تحديد احتمال عينة منها ، فإن القيم التى نحصل عليها بالمنطق الاستقرائى ، هى نفسها القيم التى يتوصل إليها الاحصائى . ومع ذلك ، إذا أجرينا استدلالاً غير مباشر من عينة واحدة إلى مجموعة من السكان ، أو من عينة إلى حالة واحدة مستقبلية أو عينة نهائية مستقبلية ( والحالتين الأخيرتين أطلق عليهما اسم " الاستدلالات التنبؤية " ) ، فإننى اعتقد أن المناهج المستخدمة فى الاحصاءات غير ملائمة تماماً . ولقد عرضت بالتفصيل فى رسالتى " استمرارية المناهج الاستقرائية " الدواعى التى جعلتنى اعتقد فى هذا .

غير النقاط الرئيسية التى أود التشديد عليها هنا هى : أن كلا نموذجى الاحتمال ـ الاحصائى والمنطقى ـ يمكن استخدامهما معاً بنفس سلسلة التعليلات إذ أن الاحتمال الاحصائى يعد جزءاً من اللغة الموضوعية للعلم . ومن قضايا الاحتمال الاحصائى يمكننا أن نطبق الاحتمال المنطقى الذى هو جزء من لغة العلم الماورائية . وقناعتى شديدة أن وجهة النظر هذه تعطى صورة أوضح بكثير للاستدلال الاحصائى من تلك التى نجدها بصفة عامة فى كتب الاحصاء ، وأنها تمدنا بأساس ضرورى لبناء منطق استقرائى مناسب للعلم .

***

## الفصل الرابع

# المنهج التجريبى

من أهم الملامح التى تميز العلم الحديث ، بالمقارنة بعلم العصور المبكرة ، هو تأكيده ، على ما يمكن أن نطلق عليه اسم " المنهج التجريبى " . وكما رأينا ، تعتمد كل المعرفة الامبيريقية ، وبشكل نهائى ، على الملاحظات . غير أن هذه الملاحظات يمكن تحقيقها بوسيلتين مختلفتين كل الاختلاف . فهناك أولا الوسيلة غير التجريبية ، وفيها نلعب دوراً سلبياً . إذ أننا ننظر ببساطة إلى النجوم أو بعض إلى الأزهار ، نلاحظ فيها المتماثلات والمتباينات ، ونحاول الكشف عن الانتظامات التى يمكن التعبير عنها بالقوانين . وهناك ثانياً الوسيلة التجريبية ، وفيها نمارس دوراً إيجابياً . إذ بدلاً من كوننا مجرد مشاهدين ، نحاول أن نفعل شيئاً ما قد يؤتى بنتائج ملاحظية ( مختصة بالملاحظة ) ، أفضل من تلك التى نجد أنفسنا مجرد مشاهدين للطبيعة . وبدلاً من الانتظار حتى تجود علينا الطبيعة بمواقف نلاحظها ، نحاول أن نخلق مثل هـذه المواقف ، أى أننا باختصار ، نقوم بإجراء تجارب .

ولقد كان المنج التجريبى مثمراً إلى أقصى حد ، فعن طريقه تم التقدم العظيم فى الفيزياء فى المائتى سنة الأخيرتين ، وبصفة خاصة ، فى العقود القليلة الماضية ، وكان من المستحيل أن يتم ذلك بدون استخدام المنهج التجريبى . وإذا كان الأمر كذلك ، فقد يسأل سائل ، لماذا لم يستخدم المنهج التجريبى فى كل مجالات العلوم ؟

الحقيقة أن هناك بعض المجالات التى يصعب استخدامه فيها مثلما نستخدمه فى الفيزياء . ففى علم الفلك مثلاً ، لا يمكننا أن نعطى دفعة لكوكب فى اتجاه آخر بعض الشىء ، لنرى ما قد يحـدث له نتيجة لهذه الدفعة . إذ أن الموضوعات الفلكية بعيدة كل البعد عن متناولنا ، ولا يسعنا إلا أن نلاحظها ونقوم بوصفها . كما أنه يمكن لعلماء الفلك ، فى بعض الأحيان ، أن يقوموا بخلق شروط فى المعمل ، شبيهة بتلك التى تحدث على سطح الشمس أو القمر ، وعندئذ يقومون بملاحظة ما يحدث فى المعمل تحت هذه الشروط . ولكن هذا لا يعد فى حقيقة الأمر

تجربة فلكية حقيقية ، وإنما هو أقرب إلى التجربة الفيزيائية التى تتفق إلى حد ما والمعرفة الفلكية .

ولأسباب مختلفة تماماً ، يمتنع علماء الاجتماع عن إجراء تجارب على مجموعات كبيرة من الناس . إذ أنهم عادة ما يجرون تجاربهم على مجموعات صغيرة . فإذا أردنا أن نعلم ما هو رد فعل الناس عندما يصبحون عاجزين عن الحصول على الماء يمكن أن نتخير من بينهم إثنين أو ثلاثة نعطيهم طعاماً لا يحتوى على سائل ، ونلاحظ ردود أفعالهم . ولن يتاح لنا معرفة رد فعل جماعة كبيرة لم تتزود بالماء . إذ ستكون التجربة مثيرة إذا ما أوقفنا مثلاً تزويد مدينة نيويورك بالماء . هل سيصاب الناس بالهوس أم بالبلادة ؟ هل سيحاولون أن ينظموا ثورة ضد حكومة المدينة ؟ بالطبع لا يجرؤ عالم الاجتماع أن يقترح مثل هذه التجربة لأنه يعرف سلفاً أن المتوجع لن يسمح له بذلك ، كما أن الناس لن يسمحوا لعلماء الاجتماع بأن يعبثوا باحتياجاتهم الأساسية .

وحتى إذا لم يتضمن هذا ضرراً حقيقياً يمكن أن يقع على المجتمع ، فإنه يظل هناك ضغوط اجتماعية قوية يمكن أن تمارس ضد التجارب التى تجرى على المجموعة . إذ أن هناك على سبيل المثال ، قبيلة فى المكسيك اعتادت على ممارسة رقصة شعائرية عند كسوف الشمس ، ويعتقد أفراد القبيلة أن هذه هى الطريقة الوحيدة لتطييب خاطر الإله الذى يسبب الكسوف ، وبعدها يعود ضوء الشمس . افترض أن مجموعة من الأنثروبولوجيين حاولوا أن يقنعوا هؤلاء الناس بأن الرقصة الشعائرية لا تأثير لها فى عودة الشمس . ولهذا يقترح الأنثروبولوجيون على القبيلة أن تمتنع عن الرقص فى الزمن الثانى لغياب الشمس ، ويرون ما يحدث ، على سبيل التجربة . سوف يرد عليهم رجال القبيلة بحنق ، إن هذا يعنى بالنسبة لهم الجرى وراء مخاطرة العيش بقية حياتهم فى ظلام . ولا يمكن فى رأيهم أن يوضع مثل هذا الأمر موضع اختبار . وهكذا ، كما ترى ، توجد عوائق كبيرة لإجراء تجارب فى مجال العلوم الاجتماعية ، حتى ولو كان العلماء مقتنعين بأن إجراء مثل هذه التجارب لن يسبب ضرراً اجتماعياً . وبصفة عامة ، نجد أن العالم الاجتماعى مقيداً بما يمكن أن يتعلمه من التاريخ ومن التجارب مع الأفراد والمجموعات الصغيرة . ومع ذلك ، غالباً ما تجرى تجارب فى ظل حكومة ديكتاتورية ، ليس بغرض اختبار نظرية ، ولكن بالأحرى لأن الحكومة تعتقد أن الإجراء الحديث سوف يجعل العمل أفضل من القديم . ومن ثم نجد أن الحكومة تجرى تجاربها على فئات واسعة سواء فى الزراعة أو الاقتصاد ، وهكذا . أما فى ظل حكومة ديموقراطية نجد أنه من المستحيل إجراء مثل هذه

التجارب الجريئة ، لأنها إذا لم تثبت فى النهاية أن هذه التجارب صائبة فقد تواجه الحكومة بموجة من الاستياء العام تؤثر عليها فى الانتخاب الثانى .

إذن المنهج التجريبى ، يكون مثمراً ، بوجه خاص ، فى المجالات التى يمكن فيها قياس المفاهيم الكمية بدقة . وعلينا أن نتساءل الآن ، كيف يتسنى للعالم أن يقوم بتصميم تجربة ؟ الحقيقة أنه من الصعوبة بمكان أن نصف الطبيعة العامة للتجارب ، لأن هناك العديد من الأنواع المختلفة منها ، ولكن على أية حال يمكننا الإشارة إلى ملامح عامة قليلة منها .

أولاً وقبل كل شىء ، علينا أن نحدد العوامل الموافقة التى تشتمل عليها الظاهرة التى ترغب فى بحثها ، وأن نترك جانباً بعض العوامل الأخرى - وليس الكثير منها - على اعتبار أنها غير موافقة . ففى تجربة الميكانيكا مثلاً ، تشتمل على عجلات وروافع ، وما إلى ذلك ، ربما نقرر أن نصرف النظر عن عامل الاحتكاك . وعلى الرغم من أننا ندرك أن الاحتكاك داخل ضمن عواملنا ، إلا أننا نرى أن تأثيره ضئيل جداً بحيث إذا آثبتناه لأدى إلى تعقيد التجربة . وبالمثل إذا كانت التجربة على أجسام بطيئة الحركة ، ربما اخترنا أن نهمل مقاومة الهواء . أما إذا تعاملنا مع سرعات عالية جداً ، كقذيفة تتحرك بسرعة أسرع من الصوت ، لما استطعنا أن نهمل مقاومة الهواء . وعلى الجملة ، فإن العالم يهمل تلك العوامل التى يرى أن تأثيرها على تجربته غير ذات أهمية ، كما أنه ، فى بعض الأحيان ، وحرصاً منه على ألا تكون تجربته معقدة للغاية ، ربما يهمل أيضاً عوامل يرى أن تأثيرها قوى .

وبعد البت فى أمر العوامل الموافقة ، نقوم باختراع تجربة نستبقى فيها على بعض هذه العوامل ثابتة ، بينما نسمح للبعض الآخر منها أن يكون متغيراً . افترض أننا نتعامل مع غاز فى إناء ، وأردنا أن نحتفظ بدرجة حرارة الغاز ثابتة على قدر استطاعتنا . فإننا نغمر الإناء فى حوض ماء ، حجمه أكبر بكثير من حجم الإناء ( الحرارة النوعية للغاز صغيرة بالمقاومة بالحرارة النوعية للماء ، وحتى إذا اختلفت درجة حرارة الغاز مؤقتاً عن طريق الضغط أو التمدد ، فإنها سوف تعود بسرعة إلى درجة حرارتها الأصلية ) . أو ربما نرغب فى أن نحتفظ بتيار كهربائى معين عند معدل ثابت من السريان . ربما يتم ذلك عن طريق الحصول على أمبيرمتر (١) فإذا لاحظنا زيادة أو نقصاناً فى التيار ، لأمكننا أن نغير المقاومة ونحتفظ بثبات التيار . بمثل هذه الوسائل وغيرها نستطيع أن نحتفظ بمقادير ثابتة معينة ، ونلاحظ فى الوقت نفسه ما يحدث عندما نغير مقادير أخرى .

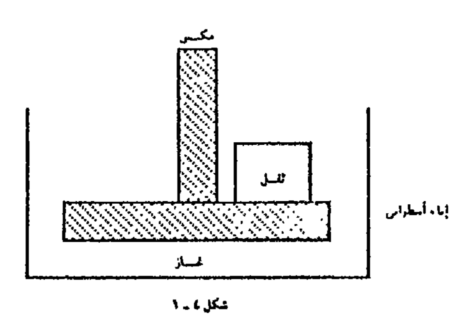
على أن يكون هدفنا النهائى هو اكتشاف القوانين التى تربط كل هذه المقادير المناسبة ، بشرط ألا تكون مشتملة على عوامل كثيرة ، وإلا أصبح الاختبار معقداً ، كما سبق القول لذلك ينبغى أن نحدد هدفنا منذ البداية فى أقل مستوى من القوانين التى ترتبط ببعض العوامل . فإذا اشتملت التجربة على مقادير ك ، فإن الخطوة الأولى الأبسط ، هى أن نقوم بعمل ترتيب للتجربة ، وعليه فإن المقادير ك ٢ تكون ثابتة .

وينتج عن هذا مقداران م ١ ، م ٢ . وبما أننا أحرار فى أن نغير ، إذن فعلينا أن نغير واحدة منهما ، ونلحظ كيف تسلك الأخرى . ربما تنخفض م ٢ ، بينما تزداد م ١ ، أو ربما تزداد م ١ بينما ترتفع م ٢ أولاً ثم تنخفض بعد ذلك . وعليه فإن قيمة م ٢ تكون دالة لقيمة م ١ . وربما نحدد المعادلة التى تعبر عن هذه الدالة ، بأن نرسم هذه الدالة على شكل منحنى على ورقة رسم بيانى ، وعندئذ نتوصل إلى قانون محدد : إذا كانت المقادير م ٣ ، م ٤ ، م ٥ .. ثابتة ، وزادت م ١ ، إذن لتغيرت م ٢ بطريقة يمكن التعبير عنها بمعادلة معينة . ولكن هذه هى البداية فقط ، لأننا نستمر فى إجراء تجربتنا ، متحكمين فى المجموعات الأخرى للعوامل ك ٢ ، وعليه نتمكن من أن نعرف كيف ترتبط دالياً الأزواج الأخرى من المقادير . وأخيراً نجرى التجربة بنفس الطريقة ثلاثة أضعاف ، محتفظين بكل شىء ثابت ، عدا المقادير الثلاثة . وربما نستطيع أن نخمن ـ فى بعض الحالات ـ من قوانيننا المتعلقة بالأزواج ، بعض أو كل القوانين المتعلقة بالثلاثيات . ومن ثم ، يكون هدفنا هو أن تظل القوانين أكثر عمومية فتشتمل على أربعة مقادير ، وأخيراً ، وحتى تكون عمومية أكثر ، وأحياناً معقدة تماماً نتوصل إلى القوانين التى تغطى كل العوامل الموافقة .

وكمثال بسيط على هذا ، افترض التجربة التالية على غاز . لقد قمنا بملاحظة مبدئية وجدنا فيها أن درجة حرارة الغاز ، وحجمه ، وضغطه كثيراً ما تتغير فى آن واحد . ونريد أن نعرف علاقة كل من هذه المقادير الثلاثة بالأخرى . أما العامل الرابع الموافق هو ما الغاز الذى استخدمناه . وفيما بعد ينبغى أن نجرى تجربة على غازات أخرى ، ولكن علينا أن نقرر أولاً الاحتفاظ بهذا العامل ثابت وذلك بأن نستخدم فقط هيدروجينا نقيا . نضع الهيدروجين فى إناء اسطوانى ( أنظر الشكل ٤ ـ ١ ) به مكبس متحرك ، بحيث يمكن أن يوضع عليه ثقل فيمكننا أن نقيس حجم الغاز ببساطة كما يمكننا أن نغير الضغط بتغيير الثقل الموضوع على المكبس ، أما درجة الحرارة فهى منتظمة ويمكن قياسها بوسائل أخرى .

قبل أن نشرع فى إجراء التجارب لنحدد كيف تتعلق العوامل الثلاثة ـ درجة الحرارة ،

الحجم ، والضغط ـ بعضها ببعض . علينا أن نجرى بعض التجارب الأولية حتى نتأكد من أنه ليس ثمة عوامل موافقة أخرى . وبعض العوامل التى ربما يداخلنا الشك فى كونها موافقة ، لم تعد كذلك . فعلى سبيل المثال ، هل شكل الإناء الحاوى للغاز مناسب ؟ نعرف فى بعض التجارب ( كتوزيع شحنة كهربية وسطح قوتها الكهربية ) أن شكل الموضوع المستخدم هام . ولا تواجهنا ها هنا صعوبة فى أن نقرر أن شكل الإناء غير موافق ، وأن الحجم فقط هـو الموافق . يمكننا أن نعتمد على معرفتنا بالطبيعة لنستبعد العديد من العوامل الأخرى . وربما يدخل أحد المنجمين المعمل ، ويتساءل : " هل راقبت مواضع الكواكب اليوم ؟ . ربما كان لمواضعها بعض التأثير على تجربتك " . إننا نفترض أن هذا العامل غير موافق لأننا نعتقد أن الكواكب بعيدة جداً إلى الدرجة التى لا يصبح لها تأثير .



شكل ٤ ـ ١

إن افتراضنا بعدم أهمية الكواكب صحيح ، ولكن قد يجانبنا الصواب إذا ما اعتقدنا أننا يمكننا أن نستبعد آلياً العديد من العوامل ، لا لشىء إلا أننا نعتقد ببساطة أنها عديمة التأثير . وعليه فليس ثمة وسيلة للتأكد حتى تجرى الاختبارات التجريبية بالفعل . تخيل أنك تحيا قبل اختراع المذياع ، وأن شخصاً ما وضع صندوقاً على منضدتك وأخبرك أنه إذا غنى أحد الأشخاص فى بقعة معينة تبعد ألف ميل ، فإنك سوف تسمع جهازاً داخل الصندوق يغنى نفس الأغنية ، بنفس طبقة الصوت ، والإيقاع تماماً . هل تصدقه ؟ من المحتمل أن ترد عليه قائلاً : " مستحيل ! إذ لا توجد أسلاك كهربية متصلة بهذا الصندوق . وأعرف من خبرتى استحالة أن يكون لشىء يبعد ألف ميل ، أى تأثير على ما يحدث فى هذه الحجرة " .

وبهذا التعليل هو نفسه الذى يجعلنا نقرر أن مواضع الكواكب لا يمكن أن تؤثر فى تجاربنا على الهيدروجين ! ويتضح من هذا أننا ينبغى أن نتوخى الحذر إلى حد بعيد . ففى بعض الأحيان تكون هناك تأثيرات يستحيل أن نعرف عنها شيئاً إلا بعد أن يتم اكتشافها . ولهذا

السبب فإن الخطوة الأولى المؤكدة فى تجربتنا ، ألا وهى تحديد العوامل الموافقة ، تصبح فى بعض الأحيان شيئاً صعباً بالإضافة إلى أن هذه الخطوة لا تذكر غالباً ضمن تقارير الأبحاث . فالعالم يصف فقط الجهاز الذى استخدمه والتجربة التى أجراها ، والعلاقات بين المقادير المعينة التى اكتشفها . ولا يردف ذلك بقوله : " واكتشفت بالإضافة إلى ذلك أن كذا وكذا من العوامل ليس لها تأثير على النتائج " . إذ أن العالم ، فى معظم الحالات ، عندما يعرف المجال الذى يجرى فيه البحث بشكل كاف فإنه يسلم جدلاً بأن العوامل الأخرى غير متصلة بهذا العامل . وربما يكون على صواب تماماً غير أنه فى المجالات الحديثة ، لا بد للمرء أن يتوخى الحذر إلى أقصى حد . لا يمكن لأحد بالطبع أن يعتقد فى أن التجربة المعملية يمكن لها أن تتأثر بما إذا كنا ننظر إلى الجهاز من مسافة عشر بوصات أو عشرة أقدام ، أو ما إذا كنا ننظر إليه ونحن فى حالة شفقة أو غضب . يحتمل أن تكون هذه العوامل متصلة بموضوعنا ، ولكن لا يمكننا أن نجزم بذلك على الإطلاق . أما إذا داخل أى شخص شك فى أن هذه العوامل موافقة ، فعليه أن يجرى تجربة للتيقن من استبعادها .

هناك بالطبع اعتبارات عملية تمنعنا من اختبار كل عامل قد يكون موافقاً ، إذ أن هناك آلافا من الإمكانيات الطفيفة التى يمكن اختبارها ، ولكنا لن نجد ببساطة الوقت الكافى لفحصها جميعاً . ومن ثم علينا أن نباشر عملنا طبقاً للحس المشترك ، ونصحح افتراضاتنا فقط إذا ماحدث شىء ما غير متوقع يجبرنا على أن نضع فى اعتبارنا عاملاً موافقاً كنا قد أهملناه من قبل . هل يحدث لون أوراق الشجر خارج المعمل ، تأثيرا على طول موجة الضوء المستخدم فى المعمل ؟ هل يعمل جزء من الآلة بشكل مختلف اعتماداً على ما إذا كان المالك القانونى لها متواجداً فى نيويورك أو شيكاغو ، أو اعتماداً على ما يعتمل فى نفسه نحو التجربة ؟ من الواضح أنه ليس لدينا وقت كاف لاختبار مثل تلك العوامل . ولكننا نفترض أن الاتجاه العقلى لمالك تلك الآلة ليس له تأثير فيزيائى على التجربة ، ولكن ربما يختلف أعضاء قبائل معينة فى هذا الأمر . وربما يعتقدون أن الآلهة سوف تعضد التجربة فقط إذا كان مالك الجهاز الحقيقى يريد للتجربة أن تجرى ، أما إذا كان هناك مالك زائف يرغب فى إجراء التجربة ، فإنها سوف تتعثر .

وهكذا نرى أن الاعتقادات الثقافية تؤثر فى بعض الأحيان فيما هو موافق بشكل اعتبارى . أما فى معظم الحالات فإن العالم يفكر فى المشكلة ، ويضع تخميناً يقوم على الحس المشترك عن ماهية العوامل التى ينبغى عليه أن يضعها فى الاعتبار ، وربما يقوم بإجراء قليل من

التجارب الأولية ليتسنى له استبعاد العوامل التى يشك فى أمرها .

افترض أننا قررنا أن العوامل الموافقة لتجربتنا على الهيدروجين هى درجة الحرارة والضغط والحجم . وحيث أنه فى إنائنا ، تبقى طبيعة الغاز وكميته الكلية ثابتة ، لأننا نحتفظ به فى إناء مغلق بإحكام ، لذا نجد أنفسنا أحراراً فى أن نختبر العلاقات بين العوامل الثلاثة . فإذا ما حافظنا على درجة الحرارة ثابتة لوجدنا أن الضغط يزيد ، ونكتشف أن الحجم يختلف عكسياً مع الضغط . ذلك لأننا إذا ضاعفنا الضغط ، لتناقص الحجم إلى نصف كميته السالفة وإذا ضاعفنا الضغط ثلاث مرات لتناقص الحجم إلى الثلث . هذه التجربة مشهورة ، وقد أجراها الفيزيائى الايرلندى روبرت بويل فى القرن السابع عشر ، ويعرف باسم قانون بويل ، وينص على أنه إذا ظلت درجة حرارة الغاز المحبوس بإحكام ثابتة لظل ناتج الحجم والضغط ثابتين .

فإذا احتفظنا فيما بعد بثبات الضغط ( وذلك بأن نترك نفس الثقل على المكبس ) وقمنا بتغيير درجة الحرارة ، لاكتشفنا أن الحجم يزداد عند تسخين الغاز ويتناقص عند تبريده ، وبقياس الحجم ودرجة الحرارة ، نجد أن الحجم متناسب مع درجة الحرارة . ( ويسمى هذا فى بعض الأحيان بقانون شارل ، نسبة إلى العالم الفرنسى جاك شارل Jacques Chares ) . وعلينا أن نتوخى الحذر ، فلا نستخدم الفهرنهايت أو المقياس المئوى ، وإنما نستخدم المقياس الذى يكون فيه الصفر " صفراً مطلقاً (٢) أو ـ ٢٧٣ بالمقياس المئوى . وهذا هو " المقياس المطلق " . أو " مقياس كلفن " الذى أدخله العالم الإنجليزى لورد كلفن فى القرن التاسع عشر . ولم يعد أمامنا الآن إلا خطوة سهلة لمراجعة القانون العام الذى يغطى العوامل الثلاثة معاً مراجعة تجريبية .

والحقيقة أن هذا القانون تم اقتراحه من القانونين اللذين توصلنا إليهما بالفعل ، ولكن للقانون العام مضموناً امبيريقياً أكبر من القانونين المأخوذين معاً . فهذا القانون ينص على أنه إذا ظلت كمية الغاز المحبوس ثابتة لتساوى الضغط والحجم مع درجة الحرارة ث ( ض ، ح = د . ث ) . و ث فى هذه المعادلة هى الثابت الذى يتغير مع كمية الغاز محل البحث . هذا القانون العام يوضح العلاقة بين المقادير الثلاثة جميعاً ، ولذلك فهو ذو كفاية أكثر أهمية فى القيام بتنبؤات من القانونين الآخرين المشتركين معه . فإذا علمنا قيمة أى مقدارين من المقادير الثلاثة المتغيرة ، لاستطعنا ببساطة أن نتنبأ بالثالث .

هذا المثال الذى طبق على تجربة بسيطة ، يبين أنه من الممكن أن نحتفظ بعوامل معينة

ثابتة ، حتى نقوم بدراسة الاعتمادات التى تنعقد بين عوامل أخرى . كما يبين ـ وهذا هو المهم ـ كيف يمكن للمفاهيم الكمية أن تؤتى بثمارها . إذ تفترض القوانين المحددة بهذه التجربة ، القدرة على قياس المقادير المختلفة المتضمنة فيها .

وإذا لم يكن الأمر كذلك ، لتمت صياغة القوانين بطريقة كيفية ، ومثل هذه القوانين ستكون أضعف بكثير وأقل فائدة فى عمل تنبؤات . إذ بدون المقاييس العددية للضغط ، والحجم ، ودرجة الحرارة ، لأمكننا ، فى الغالب ، أن نقول عن أحد المقادير أنها سوف تظل كما هى ، أو أنها ستزداد أو تتناقص . ومن ثم لقمنا بصياغة قانون بديل بقولنا : إذا ظلت درجة حرارة غاز محبوس كما هى ، وازداد الضغط ، إذن لتناقص الحجم ، وعندما يتناقص الضغط يزداد الحجم . بالتأكيد هذا قانون ، وشبيه إلى حد ما بقانون بويل ، ولكنه أكثر ضعفاً من قانون بويل ، لأنه لا يمكننا من التنبؤ بالكميات الدقيقة للمقادير ، إنه يمكننا فقط من التنبؤ بأن المقدار سوف يزداد أو يتناقص أو يظل ثابتاً .

وتصبح عيوب الصياغة الكيفية لقوانين الغازات أكثر وضوحاً إذا افترضنا قانونا عاما تم التعبير عنه بالمعادلة : ض . ح = د . ث . ولنكتب المعادلة على النحو التالى :

$$ح = \frac{د}{ض} : ث .$$

لن نتمكن من هذه المعادلة العامة ، المصاغة كيفياً ، إلا أن نشتق صياغات ضعيفة لقانون بويل وقانون شارل .، افترض أننا سمحنا للمقادير الثلاثة ـ الضغط ، الحجم ، درجة الحرارة ـ أن تختلف فى الوقت نفسه ، عدا كمية الغاز (ث) التى تظل ثابتة . سوف نجد بالتجربة زيادة كل من درجة الحرارة والضغط . وماذا عن الحجم ؟ لن نستطيع فى هذه الحالة ، أن نقرر ما إذا كان الحجم قد ازداد أو تناقص أو ظل ثابتاً . لأننا إذا أردنا أن نعين هذا ، لكان علينا أن نعرف المعدلات التى بها تزداد درجة الحرارة والضغط . وإذا زادت درجة الحرارة بمعدل أعلى من الضغط إذن لاستنتج من الصيغة السالفة أن الحجم سوف يزداد ولكن إذا لم نستطع إعطاء قيم عددية للضغط ودرجة الحرارة ، لن نستطيع فى هذه الحالة أن نتنبأ بأى شىء على الإطلاق فيما يتعلق بالحجم .

وهكذا ، يتضح لنا إلى أى درجة يمكن للتنبؤ أن يكون كاملاً بهذه الطريقة ، وإلى أى درجة

يمكن للتفسيرات أن تكون فجة إذا تمت صياغة قوانين العلم بالقوانين الكيفية . أما القوانين الكمية فهى أسمى بكثير ، لذلك علينا أن نعطى مفاهيم كمية لمثل هذه القوانين . وهذا هو محور موضوعنا الذى سوف نتناوله بالتفصيل فى الفصل الخامس .

***

## الهوامش

١ ـ الأمبير هو ميزان قوة التيار الكهربائى محسوباً بالوحدة الأمبيرية . ( المترجم ) .

٢ ـ الصفر المطلق هو درجة حرارة فرضية تتسم بفقدان الحرارة فقداناً كاملاً وتعادل ١٦ر٢٧٣ درجة مئوية تحت الصفر أو ٦٩ر٤٥٩ درجة فهرنهايت تحت الصفر . ( المترجم ) .

□ القسم الثانى □

# القياس واللغة الكمية

# مجموعات ثلاث للمفاهيم فى العلم

ربما كان من الملائم تقييم مفاهيم العلم ، كما هو الحال فى الحياة اليومية الى ثلاث مجموعات أساسية : تصنيفية classificatory ، ومقارنة comparative وكمية quantit-ative .

أعنى " بالمفهوم التصنيفى " ببساطة ، أنه ذلك المفهوم الذى يضع موضوعاً ما فى فئة معينة . فكل المفاهيم الخاصة بتصنيف الأحياء فى علم النبات وعلم الحيوان ـ أنواعها وسلالتها ، وأجناسها المختلفة ، وهكذا ـ تعد مفاهيم تصنيفية ، وهى تختلف إلى حد كبير فى كمية المعلومات التى تزودنا بها عن الموضوع . فإذا قلت مثلاً عن شيء ما إنه أزرق ، أو ساخن ، أو مكعب ، فإننى أكون تقريرات ضعيفة نسبياً عن الموضوع . وحتى نضع الموضوع فى فئة أكثر تحديداً ، فلابد أن تزداد المعلومات الخاصة بهذا الموضوع ، حتى ولو ظلت بسيطة نسبياً . إذ أن التقرير بأن لهذا الموضوع تركيباً عضوياً حياً ، يجعلنا نتنبأ أكثر بكثير مما لو قررنا بأنه ساخن . كما أن التقرير الذى يفيد بأنه " حيوان :" يزيد قليلاً من المعلومات ، وتزداد أكثر إذا أفاد بأنه " فقرى " . وعندما تستمر الفئات فى التضييق ـ ثديى كلب ، كلب صغير كثيف الشعر وهكذا ـ فإننا نضاعف هذه الفئات بكمية من المعلومات ، ومع ذلك تظل قليلة نسبياً . والحقيقة أن المفاهيم التصنيفية تعد من أكثر المفاهيم ألفة لنا ، إذ أن الكلمات الأولى التى يتعلمها الطفل ـ " كلب " ، " قط " ، " منزل " ، " شجرة " ـ تنتمى إلى هذا النوع .

أما المفاهيم الأكثر فعالية فى توصيل المعلومة ، إنما هى " المفاهيم المقارنة " لأنها تمثل مكانة متوسطة بين المفاهيم التصنيفية والكمية . واعتقد أنه من المناسب أن نوليها بعض الاهتمام ، لأن قيمتها وقوتها كثيراً ما أهملتا ، حتى بين العلماء أنفسهم . وأحياناً نصادف عالماً يقول : " أنها مطلوبة بالتأكيد حتى نقدم بها المفاهيم الكمية ، وهى تلك المفاهيم التى يمكن قياسها بمقياس الرسم ، أما فى مجالى ، لسوء الحظ ، فإننى لا أستطيع عمل ذلك ، لأن هذا

المجال لا يزال فى خطواته الأولى ، إذ أننا لم نطور بعد الأساليب التكتيكية للقياس ، ومن ثم فإننا نحصر أنفسنا فى اللا كمى ، أى فى اللغة الكيفية . وربما فى المستقبل ، عندما يتقدم المجال أكثر ، يكون فى مستطاعنا أن نطور اللغة الكمية " . وربما يكون هذا العالم على حق تماماً فى قوله هذا ، ولكنه يخطىء إذا تصور أنه بحديثه عن الحدود الكيفية ، ينبغى له أن يعرف لغته بمفاهيم تصنيفية ، وهى المفاهيم الأكثر فجاجة من المفاهيم المقارنة التى يمكن ـ فى الغالب ـ أن تسبق المفاهيم الكمية وتكون مقدمة لها ، حيث أن لديها الكثير جداً من الأدوات الفعالة التى تصلح للوصف والتنبؤ والتفسير .

إن المفهوم التصنيفى يضع الموضوع مثل " ساخن " أو " بارد " فى فئة فقط ، أما المفهوم المقارن ، فإنه يخبرنا كيف يتعلق الموضوع مثل " أكثر سخونه " أو " أكثر برودة " بموضع آخر سواء أكان أكثر أو أقل . وقبل أن يقوم العلم بتطوير مفهوم درجة الحرارة الذى مكنه من القياس ، كان من الممكن للعالم أن يقول " هذا الموضوع أكثر سخونة من ذلك " ، وعليه فإن هذا النوع من المفاهيم المقارنة مفيد للغاية . افترض مثلاً أن خمسة وثلاثين رجلاً تقدموا لشغل وظيفة تتطلب نوعاً معيناً من المهارات ، وأن بالشركة سيكولوجياً لديه اختبار يمكنه من تحديد أى من المتقدمين مؤهل للوظيفة . تكون الأحكام التصنيفية هنا أفضل بالطبع من عدم وجود أحكام على الإطلاق . إذ يمكنه أن يقرر أن خمسة من المتقدين يتصفون بخيال واسع ، وأن عشرة منهم خيالهم منخفض ، والباقى خيالهم لا مرتفع ولا منخفض . وبطريقة مماثلة يمكنه أن يجرى تصنيفات تقريبية على الخمسة والثلاثين رجلاً فى حدود مهاراتهم اليدوية ، وقدراتهم الرياضية ، واستقرارهم العاطفى ، وهكذا . يمكننا بالطبع أن نستخدم هذه المفاهيم باعتبارها مفاهيم مقارنة ضعيفة ، كأن نقول مثلاً إن هذا الشخص ذو " الخيال الواسع " أعلى فى هذه المهارة من ذلك الشخص ذو " الخيال المنخفض " . ولكن إذا تمكن السيكولوجى من أن يطور منهجاً مقارناً ، ووضع الخمسة والثلاثين رجلاً فى صف واحد وقام بترتيبهم كل حسب مهارته فسوف يعرف حينئذ الكثير عنهم مما لو صنفهم فقط فى ثلاث فئات ، قوى وضعيف ، ومتوسط .

لا يمكننا أبداً أن نقلل من أهمية المفاهيم المقارنة وخصوصاً فى المجالات التى لم تتطور فيها بعد طرق البحث العلمى والمفاهيم الكمية . صحيح أن استخدام السيكولوجى للمفاهيم الكمية يتزايد يوماً بعد يوم ، إلا أنه لا يزال هناك الكثير من الوقت الذى يضطر فيه السيكولوجى إلى تطبيق المفاهيم المقارنة فقط . أما الأنثربولوجيا فهى بالكاد لا تملك أى مفاهيم كمية ، وأنها

تتعامل - فى الغالب - مع المفاهيم التصنيفية ، وما زالت فى حاجة ماسة إلى معايير امبيريقية تمكنها من تطوير مفاهيم مقارنة جديدة . ولأن مجالات كهذه لم تتمكن بعد من استخدام المقاييس الكمية ، فإن الحاجة تصبح ماسة إلى تطوير المفاهيم المقارنة ، لما لها من فعالية أكبر بكثير من المفاهيم التصنيفية .

وحرى بنا هنا أن نلفت النظر إلى رسالة كتبها كل من كارل . ج . همبل . Karl . G Hempel وبول أوبنهيم Pual Oppenheim عنوانها بالألمانية " Der Typusbergriff im Lichte der neuen Logik " ظهرت عام ١٩٣٦ . وترجمة العنوان " مفهوم النمط من وجهة نظر المنطق الحديث " وجه المؤلفان اهتمامهما بصفة خاصة إلى علم النفس والمجالات المتعلقة به . وكما يؤكد المؤلفان ، فإن مفاهيم النمط لا تزال هزيلة إلى حد بعيد . إذ عندما يضيع السيكولوجيون وقتهم الثمين فى تصنيف الأفراد إلى انبساطيين وانطوائيين والوسط بين الانبساطى والانطوائى ، أو أية أنماط أخرى ، فهم فى الحقيقة لا يقدمون أفضل ما لديهم . وقد نجد هنا وهناك محاولات تبذل لتقديم معيار تجريبى يمكن أن يؤدى إلى قيم عددية ، كما هو الحال فى المادة التيبولوجية typology ( علم شرح الرموز الكتابية ) ، التى قدمها وليام شيلدون William Shildin ولكن فى الوقت الذى كتب فيه همبل وأوبنهيم مقالتهما لم يكن هناك إلا القليل جداً من هذا النوع من المعايير . فقد كان لكل سيكولوجى يهتم بالشخصية ، والفطرة ، والمزاج نسقه النمطى الخاص به . ولقد أشار همبل وأبنهيم إلى أن هذه المواد التيبولوجية المختلفة تقل كثيراً عن المفاهيم التصنيفية ، وشددا على حقيقة أن هذه المواد على الرغم من أنها مبتسرة فى تقديم مقاييس ومفاهيم كمية ، إلا أنها يمكن أن تكون خطوة عظيمة إلى الأمام إذا نجح السيكولوجيون فى اختراع مفاهيم مقارنة يمكن تطبيقها .

إذ غالباً ما نجد أن المفهوم المقارن قد تحول فى النهاية إلى قاعدة للمفهوم الكمى . والمثال التقليدى على هذا هو المفهوم " الأسخن " الذى تطور أخيراً إلى مفهوم " درجة الحرارة " . وقبل أن نخوض فى التفصيلات التى توضح الطريقة التى نؤسس بها معايير امبيريقية للمفاهيم العددية ، أولى بنا أن نرى كيف تؤسس المعايير للمفاهيم المقارنة .

وحتى نتمكن من توضيح ذلك ، نفترض أن مفهوم الثقل قادر على إعطائنا قيماً عددية ، وبما أننا لا نحوز فقط إلا على مفاهيم مقارنة للأثقل والأخف والمتساوى فى الثقل ، فما هو إذن الإجراء الامبيريقى الذى نستطيع به تناول أى زوجين من الأجسام وتحديد كيفية مقارنتهما فى

حدود هذه المفاهيم الثلاثة ؟ إننا فى حاجة فقط إلى ميزان دقيق ، وإلى هاتين القاعدتين :

(١) إذا توازن الجسمان على الميزان ، لكانا متساويين فى الثقل .

(٢) وإذا لم يتوازنا ، لكان الجسم الذى على الكفة الهابطة أثقل من الجسم الذى على الكفة المرتفعة .

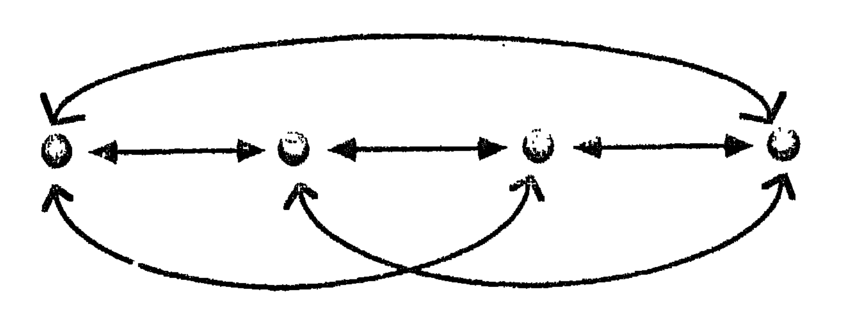
وبتحديد أكثر ، لا نستطيع الحكم بأن لجسم ما " ثقلا أكبر " من آخر ، لأننا لم ندخل بعد المفهوم الكمى للثقل ، ولكن ربما تستخدم مثل هذه اللغة فى الممارسة العملية ، حتى ولو لم تكن الوسيلة متاحة بعد لتحديد قيم عددية للمفهوم ، فقد تحدثنا مثلاً ـ منذ هنيهة ـ عن رجل يتمتع " بخيال أوسع " من آخر برغم عدم قدرتنا على تحديد قيم عددية للخيال .

ولكى نتمكن من توضيح الميزان الدقيق ، كما هو الحال فى جميع الإجراءات الامبيريقية ، ولكى نقيم مفاهيم مقارنة ، علينا أن نميز بين مظهرين من الإجراء ، الأول أن يكون الإجراء اصطلاحياً خالصاً ، والثانى ألا يكون كذلك ، لأنه يعتمد إما على وقائع طبيعية أو قوانين منطقية . ولكى ندرك هذا التمييز علينا أن نقرر القاعدتين اللتين نعرف بهما المفاهيم المقارنة للثقل ألا وهى التساوى ، والأثقل من ، والأخف من ، بشكل أكثر صورية . بالنسبة للتساوى ، نجد أننا فى حاجة إلى قاعدة لتعريف علاقة تطابق تخضع للملاحظة an observable relation corresponding ، وسوف أرمز إليها بالرمز " ت " . أما بالنسبة للمفهومين الآخرين فإننا فى حاجة إلى قاعدة لتعريف علاقة سوف أطلق عليها اسم " أقل من " وأرمز إليها بالرمز " ق " .

وعليه فإن العلاقتين " ت " و " ق " تم تعريفهما بإجراءات امبيريقية . فإذا وضعنا جسمين على كفتى ميزان دقيقة ولاحظنا أن الميزان ظل ثابتاً على توازنه ، قلنا أن العلاقة ت بين الجسمين ، من جهة خاصية الثقل ، مضبوطة .

ويتضح من ذلك أننا استخدمنا إجراء اصطلاحياً كاملاً لتعريف ت ، ق ، ولكن هـ ليس هو بالأمر الذى يعنينا . فإذا لم تتزود حالات معينة بعلاقتين نقوم باختيارهما ، إذن لما استطاعت هذه الحالات أن تفيد " ت " و " ق " بشكل ملائم ، ولهذا السبب فإن هاتين العلاقتين لا يتم اختيارهما بشكل تحكمى ، لأنهما تنطبقان على جميع الأجسام التى لها ثقل . وتمثل هذه

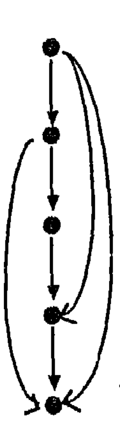
المجموعة من الموضوعات نطاق مفاهيمنا المقارنة . فإذا انعقدت العلاقتان ت و ق لهذا النطاق ، لكان من الممكن ترتيب جميع الموضوعات فى هذا النطاق إلى نوع من البناء المتطابق strati-fied structure ( أى المرتب طبقة فوق أخرى ) والذى يسمى فى بعض الأحيان " بالترتيب شبه المتسلسل " . ويمكن شرح هذا بشكل أفضل عن طريق استخدام بعض مصطلحات منطق العلاقات . فالعلاقة ت على سبيل المثال ينبغى أن تكون متماثلة ( فإذا انعقدت بين أى جسمين أ ، ب ، لانعقدت أيضاً بين ب ، أ ) ، كما ينبغى أيضاً أن تكون متعدية ( أى إذا انعقدت بين أ ، ب و ب ، ج ، لانعقدت أيضاً بين أ ، ج ) . ويمكننا رسم هذا بيانياً باستخدام نقاط تمثل الأجسام ، وأقواس مزدوجة توضح علاقة المساواة .



ويتضح من ذلك أنه إذا اخترنا لـ ت علاقة غير متماثلة ، لما كانت مناسبة لأغراضنا . ولربما قلنا فى هذه الحالة أن لموضوع نفس الثقل تماماً الذى للآخر ، ولكن هذا الموضوع الآخر لم يكن له نفس ثقل الموضوع الأول . وبالطبع ليس هذا هو السبيل الذى نرمى إليه فى استخدامنا للحد د " نفس الثقل " . إن توازن الميزان يعد علاقة متماثلة . فإذا توازن موضوعان ، فإنهما سوف يستمران فى التوازن حتى بعد أن نبدل موضعهما على كفتى الميزان . لذلك لابد أن تكون ت علاقة متماثلة ، وبالمثل نجد أنه إذا توازنت أ مع ب على الميزان ، وتوازنت ب مع جـ إذن لتوازنت أ مع جـ ، ومن ثم تصبح العلاقــة ت متعدية أيضاً . وإذا كانت العلاقة ت متعديـة ومتماثلة ، فلابد أن تكون " منعكسة " Reflexive . ذلك لأن أى موضوع لا بد أن يكون متساوياً فى الثقل مع نفسه . وفى منطق العلاقات تسمى العلاقة المتماثلة والمتعدية بعلاقة " تكافؤ " equivalence وبتضح من ذلك أن اختيارنا للعلاقة ت لم يكن تحكمياً ، إذ أن اختيارنا وقع على ت باعتبارها متساوية فى الوزن ، ولأن هذه العلاقة ـ كما لاحظنا ـ تعد

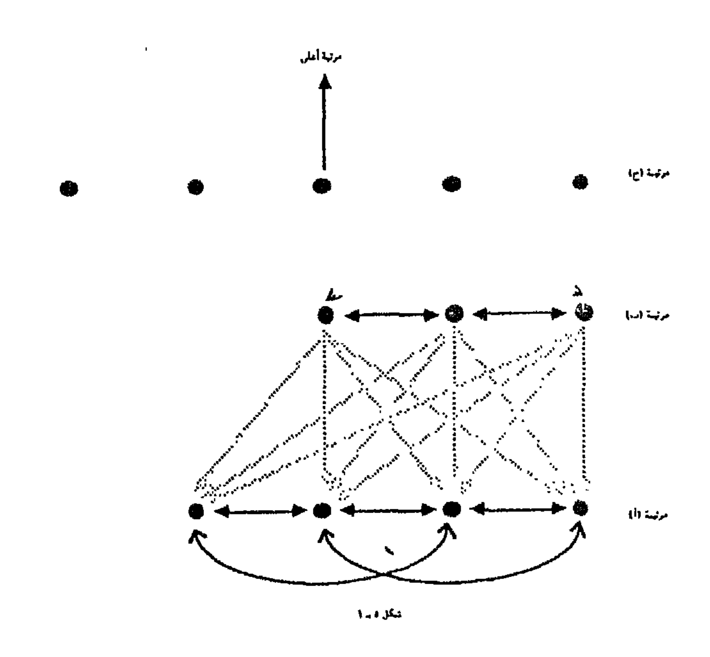
أما العلاقة ق فلا تعد متماثلة ، إنها لا متماثلة asymmetric لأنه إذا كانت أ أخف من ب ، فلا يمكن أن تكون ب أخف من أ . ولكنها متعدية ، لأنه إذا كانت أ أخف مـن ب ، و ب أخف من جـ إذن تكون أ أخف من جـ . هذا التعدى للعلاقة ق يشبه خواص العلاقة ت ، وهو مألوف لنا لدرجة أننا نغفل عن إجراء اختبار امبيريقى لنتأكد من تطابقه مع مفهوم الثقل . فعندما نضع أ و ب على كفتى ميزان ، ووجدنا أن ب تهبط ، فإننا نتوقع هبوط أ إذا ما وضعنا أ و جـ على الكفتين . أما إذا كنا فى عالم مختلف عن عالمنا ، حيث لا تجرى قوانيننا الطبيعية مجراها ، وربما وجدنا أن الكفة التى بها أ ترتفع ، وإذا ما حدث هذا ، فإننا لا يمكن أن نسمى العلاقة التى كنا بصدد اختبارها بأنها علاقة متعدية ، وبالتالى فهى لا يمكن أن تكون صالحة لـ ق .

والآن نضع رسماً تخطيطياً للعلاقة ق ، المتعدية وللا متماثلة ، عن طريق أسهم مفردة من نقطة لأخرى .



فإذا صحت العلاقتان ت و ق بالنسبة لكل الموضوعات فى هذا النطاق ، إذن لأمكن ترتيب كل الموضوعات فى نظام شبه متسلسل كما هو مرسوم بيانياً فى الشكل ٥ ـ ١

فى أكثر المستويات انخفاضاً ، كما هو الحال فى المرتبة أ ، نحصل على كل الموضوعات المتساوية فى الثقل ، ولكنها تكون أخف من كل الموضوعات التى لا تدخل فى تلك المرتبة . وربما يكون الموضوع واحداً فقط ، أو ربما يكون آلافاً متعددة ، يبين الشكل ٥ ـ ١ أربعة موضوعات فقط . أما فى المرتبة ب ، فإننا نحصل على مجموعة أخرى من الموضوعات ذات الثقل المتساوى ، وكل منهما مرتبط بالآخر عن طريق ت ، وهى جميعاً أثقل من الموضوعات




شكل ٥ ـ ١

التى فى المرتبة أ ، وأخف من كل الموضوعات التى لا توجد فى أ أو ب . وتستمر هذه المراتب فى الصعود حتى نصل أخيراً إلى مرتبة أكثر ثقلاً . وإذا لم تبين الاختبارت الامبيريقية وضع موضوعات النطاق فى هذا الترتيب شبه المتسلسل ، لما كانت العلاقتان ت ، ق مناسبتين لتعريف المفاهيم المقارنة الخاصة بالثقل المتساوى والثقل الأقل .

وسوف نجد كل هذا مناقشا بشكل أكثر تفصيلاً في الجزءين العاشر والحادى عشر من رسالة همبل " أصول مفهوم التكوين فى العلوم الامبيريقية "

" Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science "

يذكر فيها أن هناك أربع حالات لا بد أن تتحقق لـ ت و ق :

١ ـ أن تكون ت علاقة تكافؤ .

٢ ـ أن يتم استبعاد ت عن ق . فلا يمكن لزوج من الموضوعات أن يتساويا فى الثقل ، وأن يكون أحدهما أخف من الآخر فى نفس الوقت .

٣ ـ أن تكون ق متعدية .

٤ ـ أن تنعقد ، بالنسبة لأى موضوعين أ ، ب ، إحدى الحالات الثلاث التالية ( ويكفى بالفعل أن نقول أن واحدة على الأقل تنعقد ، ومن ثم يستتبع أن واحدة سوف تنعقد من الشروط

الأخرى ) .

أ ـ أن تنعقد ت بين الموضوعين .

ب ـ أن تنعقد ق بين أ و ب .

جـ أن تنعقد ق بين ب و أ .

وبكلمات أخرى ، إذا كان للموضوعين أ و ب ثقل . فهما إما أن يتساويا فى الثقل أو يكون أ أخف من ب ، أو ب أخف من أ .

فإذا ما تحققت هذه المتطلبات الأربعة فى أى علاقتين ، لأمكننا القول أنهما يؤلفان نظاماً شبه متسلسل ، ويمكن رسم ذلك تخطيطياً بطريقة المراتب كما هو مبين فى الشكل ٥ ـ ١ . وبواسطة علاقة التكافؤ ت ، نضيف جميع الموضوعات إلى فئات متكافئة ، وعندئذ وبمساعدة العلاقة ق نضع هذه الفئات فى ترتيب تسلسلى ، وبهذه الوسيلة يتطور الرسم التخطيطى الكلى للمراتب المنتظمة . والنقطة التى أرغب فى التأكيد عليها هنا هى أن المفاهيم المقارنة ـ بصرف النظر عن مسألة ما إذا كانت تنطبق أولا تنطبق تماماً على وقائع الطبيعة ـ محددة بواسطة البناء المنطقى للعلاقات .

والأمر ليس كذلك مع المفاهيم التصنيفية ، ففى حالة تعريفنا لمفهوم الفئة نستطيع أن نحدد أى شروط نفضلها ، حتى ولو اشتملت على شروط متناقضة منطقياً ، مثل الحديث عن موضوعات تزن ثلاثة أرطال ، وتزن فى نفس الوقت أقل من رطل ، عند ئذ نكون قد عرفنا فئة ليست عضواً فى أى عالم ممكن . وإلى جانب هذا ، نحن أحرار فى أن نعرف فئة بأى طريقة مناسبة نرغب فيها ، بقطع النظر عما إذا كانت لهذه الفئة أعضاء فى عالمنا من عدمه . والمثال التقليدى لهذا هو مفهوم أحادى القرن (١) إننا نقوم بتعريفه على اعتبار أنه حيوان على شكل فرس ولكن له قرن مستقيم على جبهته . هذا التعريف جيد تماماً بمعنى أنه يعنفى معنـى للحـد " أحادى القرن " ، فهو يعرف فئة ، ولا تفي هذه الفئة عالم الحيوان لأنها تعد فئة فارغة بالمعنى الامبيريقى ، لأنه ليس لها أعضاء ، ولكن هذه المسألة لا تدخل فى اعتبار المنطقى .

أما فيما يختص بالمفاهيم المقارنة ، فإن الموقف يختلف تماماً ، إذ أنها ـ وذلك على خلاف مفاهيم الفئة ـ تتضمن بناء معقداً من العلاقات المنطقية . فإذا قمنا بتقديمها فلا نستطيع أن نعارض أو نعدل من هذا البناء ، بل لا بد من تحقق المتطلبات الأربعة التى قررها همبل ، وهكذا

نرى أن هناك وسيلتين بهما لا تكون المفاهيم المقارنة للعلم اصطلاحية بشكل كامل : أن تنطبق على وقائع الطبيعة ، وأن تتوافق مع بناء منطقى للعلاقات .

ونصــل الآن إلى " المفاهيم الكمية " ، لكل مفهوم كمى ، زوج متطابق من المفاهــيم المقارنة ، والتى فى مجال تطورر العلم ، تخدم عادة باعتبارها خطوة أولى نحو الكمى . وفى الأمثلة التى سقناها ، المفاهيم المقارنة للثقل الأقل والثقل المتساوى ، أدت بنا ببساطة إلى مفهوم الثقل الذى يمكن قياسه والتعبير عنه بأعداد . وسوف نناقش طبيعة المفاهيم الكمية ، لماذا هى مفيدة ، وفى أى المجالات يمكن أن تنطبق ، وهل هناك مجالات لا تنطبق عليها ،. وهذه النقطة الأخيرة ذات أهمية قصوى فى مناهج العلم ، ولهذا السبب سوف نتناولها بتفصيل أكبر ، ولكن قبل الخوض فى مثل هذه المسائل ، علينا أن نجرى بعض ملاحظات أولية عامة سوف تتضح أكثر فى سياق مناقشتنا ، ولكن ينبغى أن نحددها الآن .

أولاً وقبل كل شىء ، علينا أن نؤكد أن الاختلاف بين الكيفى والكمى ليس اختلافاً فى الطبيعة وإنما اختلاف فى نسقنا المفهومى ـ فى لغتنا ، ويمكننا القول أنه إذا كنا نعنى باللغة نسقاً من المفاهيم ـ وأن استخدم اللغة هنا كما يستخدمها المناطقة ، وليس بمعنى وجود لغة إنجليزية أو أخرى صينية ـ إذن لكان لدينا لغة للفيزياء ، ولغة للأنثروبولوجيا ، ولغة للمجموعة النظرية وهكذا . وبهذا المعنى ، تتألف لدينا لغة عن طريق قواعد لمفرداتها ، وقواعد لبناء قضايا ، وقواعد لاستنباطات منطقية من تلك القضايا ، وقواعد أخرى . غير أن المفاهيم التى تظهر فى اللغة العلمية هامة للغاية . إذن ما أود توضيحه هو أن الاختلاف بين الكيفى والكمى إنما هو اختلاف بين لغتين .

وتنحصر اللغة الكيفية فى المحمولات ( كقولنا على سبيل المثال " العشب أخضر " ) بينما تدخل اللغة الكمية فيما يسمى بالرموز الدالة Functor Symbols وهى رموز لدالات لها قيم عددية . وهذا التحديد هام ، لأن هناك اختلافاً كبيراً فى وجهات النظر ، وخاصة بين الفلاسفة فيما يختص بوجود نوعين من الصور فى الطبيعة ، الكيفية والكمية . إذ يؤكد بعض الفلاسفة على أن العلوم الحديثة تهمل المظاهر الكيفية للطبيعة ، لأنها تحصر اهتمامها أكثر فأكثر نحو الصور الكمية ، وهى بذلك تنقل صورة مشوهة تماماً عن العالم . على أن هذه الوجهة من النظر خاطئة تماماً ويتبين لنا خطؤها إذا قمنا بتقديم تمييز فى المكان المناسب . فعندما ننظر إلى الطبيعة ، لا يمكننا أن نسأل : " هل هذه الظواهر التى أراها الآن ، ظواهـر كيفيـة أو

كميـة ؟ " لأن هذا ليس بالسؤال الصحيح . أما إذا وصف شخص ما هذه الظواهر فى حدود معينة ، وقام بتصريف هذه الحدود ، وقدم قواعد استخدامها ، لأمكنـه حينئذ أن يسأل : " هل هذه الحدود للغة كمية أم أنها للغة قبل كمية a prequantitative ، أى للغة كيفية ؟ " .

وثمة نقطة أخرى هامة ، هى أن المواصفات (٢) convertions تلعب دوراً هاماً للغاية فى المدخل إلى المفاهيم الكمية ، ولا ينبغى علينا إغفال هذا الدور . ومن الناحية الأخرى ، ينبغى علينا أيضاً أن نتوخى الحذر ولا نفرط فى تقدير هذا الجانب المواضعى . صحيح أن هذا لا يحدث غالباً ، ولكن هناك القليل من الفلاسفة الذين فعلوا هذا ، فقد نادى هوجو دنجلر Hugo Dingler فى ألمانيا على سبيل المثال بنظرة مواضعية كاملة ، وهذا فى رأيى خطأ فادح . فقد قال بأن جميع المفاهيم بل وقوانين العلوم إنما هى مسألة مواضعة ، وهو فى رأيى قد ذهب بعيداً جداً ، ولقد أتهم بونكاريه أيضاً بمشايعة نظرية المواضعة conventioalism بهذا المعنى الراديكالى ، ولكننى اعتقد أن ذلك سوء فهم لكتاباته ، صحيح أنه شدد ، فى الغالب ، على الدور الهام الذى تلعبه المواضعات فى العلم ، ولكنه كان أيضاً على حذر من المركبات الامبيريقية التى يمكن أن تدخل فى هذا المجال ، فلقد تحقق من أننا لسنا دائماً أحراراً فى عمل اختبارات تحكميه لبناء نسق للعلوم ، وإننا ينبغى أن نكيف نسقنا طبقاً لوقائع الطبيعة كما نجدها . فالحقيقة تمدنا بعوامل فى الموقف الذى هو خارج تحكمنا ، وكان من الممكن أن نطلق على بوانكاريه اسم مواضعى ، فقط لو أنه كان فيلسوفاً ، فلقد أكد معظم الفلاسفة السابقين ، على الدور الكبير للمواضعة ، ولكنه لم يكن مواضعيا راديكاليا .

وقبل أن نشرع فى معالجة دور القياس فى تطور المفاهيم الكمية ، علينا أن نشير إلى أن هنـاك منهجاً كمياً أبسط ، وأكثر أهمية ، ألا وهو منهج العد method of counting ، فإذا لم تكن لدينا أولاً القدرة على العد ، لن نستطيع أن نقيس ، والعد لا يشتمل على أكثر من أعداد صحيحة غير سالبة nonegative integers ، وأقول " أعداداً صحيحة غير سالبة " بدلاً من القول " أعداد صحيحة موجبة " ، ذلك لأن الصفر يعد أيضاً نتيجة للعد ، وذلك إذا ما تناولنا العد بمعناه الواسع . وليكن المعطى فئة متناهية a finite class ـ ولـكن جميع المقاعد فى هذه الغرفة نجد أن العد هو الوسيلة التى بها نحدد العدد الأصلى لهذه الفئة . إننا نعد المقاعد ـ واحد ، إثنين ، ثلاثة ، وهكذا ـ حتى ننتهى عند العد عشرين . افترض أننا رغبنا فى إحصاء عدد أجهزة البيانو التى بالغرفة ، ونظرنا حولنا فلم نجد أى جهاز بيانو ، نقول عند ئذ أن العدد الأساسى هو الصفر ، ويمكن أن نعتبره حالة منحلة a degenerate case للعد ، ففى أى

حالة يعد الصفر عدد صحيح ، ويمكن أن ينطبق على فئة باعتباره عددها الرئيس ، وفى مثل هذه الحالات نطلق عليها عادة اسم الفئة الفارغة (٣) null class .

ونفس إجراء العد يعطينا عدداً أساسياً لفئة متناهية من الحوادث المتتالية ، فإننا نحصى عدد المرات التى نسمع فيها الرعد أثناء عاصفة ، أو عدد دقات ساعة الحائط ، وعلى الأرجح فإن هذا النموذج من العد ، كان أسبق تاريخياً من عد فئات الأشياء المتزامنة ، مثل المقاعد فى الغرفة . وفى الحقيقة هذه هى الوسيلة التى بها يتعلم الطفل العد ، فهو يمشى فى الغرفة ويلمس كل مقعد على حدة بينما يردد العدد فى كلمات ، إن ما يحصيه بالفعل إنما هو سلسلة من حوادث اللمس ، فإذا سألته أن يحصى مجموعة من الأشجار على مسافة ما ، فإنه يجد صعوبة فى أن يفعل ذلك ، لأنه من الصعب أن يشير إلى الأشجار واحدة تلو الأخرى ويجرى تصوراً عن هذا الإجراء اللمسى . ولكنه إذا اعتنى بإحصاء حوادث التحويل ركنا متأكدين أنه يحدد كل شجرة مرة واحدة ، حينئذ نقول إن هناك تساويا فى الشكل بين عدد الأشجار وعدد تحويل الحوادث . فإذا كان عدد هذه الحوادث ثمانية ، فإننا ننسب نفس العدد إلى فئة الأشجار التى على هذه المسافة . ويمكن لطفل أكبر أو لبالغ أن يعد الأشجار دون تحويل ، ولكن إذا لم يكن عدداً صغيراً مثل ثلاثة أو أربعة بحيث يمكن التعرف عليه من نظرة واحدة ، فإنه يركز انتباهه أولاً على شجرة واحدة ، ثم على أخرى ، وهكذا ، وما زال الإجراء واحداً من عد الحوادث المتتالية ، ذلك لأن العدد الأساسى الذى حصلنا عليه بهذه الوسيلة هو بالفعل العدد الأساسى للفئة التى يمكن أن تكون معروضة عن طريق برهان صورى ، ولكننا لن نمضى إلى تفصيلاتها فى هذا السياق ، إنما النقطة التى نشدد عليها هنا هى أنه فى احصاء فئة من الموضوعات ، فإننا نحصى بالفعل شيئاً ما آخر ، سلاسل من الحوادث ونضع حينئذ دليلاً على قاعدة الشكل ( واحد ـ بواحد علاقة بين الحوادث والموضوعات ) ويشتمل ذلك على العدد الأساسى للحوادث الذى هو العدد الأساسى للفئة .

وهكذا يجد المنطقى العديد من التعقيدات فى مثل هذه الأشياء البسيطة ! حتى العد وهو أبسط المناهج الكمية ، عند التحليل يتحول ليس إلى مثل هذه البساطة التى تبدو منذ الوهلة الأولى ، ولكن عندما نستطيع العد مرة واحدة ، فإننا نستطيع أن نستمر فى تطبيق أحكام القياس كما هو موضح فى الفصل السادس .

***

## هوامش

١ ـ حيوان خرافى له جسم فرس وذيل أسد وقرن وحيد فى وسط جبهته . ( المترجم ) .

٢ ـ المواضعة اصطلاح استخدمه بوانكاريه للدلالة على أن مبادىء العلوم لا تعبر تعبيراً كاملاً عن الواقع . فهناك دائماً فاصل بين التصور العلمى للواقع والواقع نفسه ، كما أن هناك دائماً قدراً من المواضعة أو البناء الاصطناعى فى العلم . ( المترجم ) .

٣ ـ يرجع مفهوم الفئة الفارغة إلى الرياضى جورج بول ( ١٨١٥ ـ ١٨٦٤ ) الذى أسماها المجموعة الفارغة Null set وهى تلك المجموعة التى ليست لها عناصر أو أفراد ، وهى تقابل الصفر ، وتلعب نفس الدور الذى يؤديه فى الحساب العادي ، وتكافىء هذه المجموعة التناقض فى المنطق . غير أن هذا المفهوم قد احتل مركزاً متميزاً عند الوضعية المنطقية نتيجة لتحليلات كل من فريجة وفتجنشتين له ، وربطه بنظرية المعنى والدلالة . وهى تلك النظرية التى تذهب إلى أنه لكى تستطيع الحكم بأن عبارة أو قضية ما علمية ، علينا أن نتحقق من أن لها دلالة حقيقية ، أما إذا كانت غير علمية فإن دلالتها تكون فارغة أى غير حقيقية . فقد يكون لاسم ما معنى مثل أحادى القرن الذى ذكره كارناب ، ولكن ليس له دلالة لأنه كائن خرافى لا وجود له فى عالم الواقع ، ومن ثم يصبح اسماً فارغاً ، وينطبق هذا الأمر على الجملة أو القضية . فقد يكون لجملة أو قضية ما معنى ولكن ليس لها دلالة كأن نقول مثلاً " وزير الكرة الأرضية " فهذه العبارة لها معنى عندنا ولكن ليس لها دلالة ، لأنه لا يوجد وزير للكرة الأرضية وهكذا . فقد احتل هذا المفهوم مركزاً متميزاً عند الوضعية المنطقية كما ذكرنا ، فقد تطور عند كارناب ليصبح محوراً لفلسفته ، بل أن مهمة الفلسفة عنده أصبحت التحليل المنطقى للغة ذات المعنى والدلالة . ( المترجم ) .

## الفصل السادس

# القياس والمفاهيم الكمية

إذا تم توصيف وقائع الطبيعة بمفاهيم كمية ـ أى مفاهيم معبر عنها بقيم عددية ـ لكان علينا أن نقوم بإجراءات للتوصل إلى تلك القيم ، وأبسط الإجراءات ، كما رأينا فى الفصل السابق هى العد . وفى هذا الفصل سوف نفحص الإجراء الأكثر دقة للقياس . إن العد يعطى القيم المعبر عنها فقط فى أعداد صحيحة ، أما القياس فهو يمضى أبعد من ذلك ، فهو لا يعطى فقط القيم التى يمكن التعبير عنها بأعداد منطقة ( الصحيحة أو الكسرية ) وإنما أيضاً القيم التى يمكن التعبير عنها بأعداد غير منطقة . وهذا يجعل من الممكن أن نطبق الأدوات الرياضية القوية ، مثل حساب التفاضل والتكامل . والحصيلة هى تزايد ضخم فى كفاية المنهج العلمى .

والنقطة الأولى الهامة التى ينبغى أن ندركها بوضوح ، هى أنه لكى نضفى معنى محدودا مثل " الطول " و " درجة الحرارة " ينبغى أن تكون لدينا قواعد لعملية المقياس . ولا تعد هذه القواعد شيئاً آخر أكثر من قواعد تدلنا كيف نشير إلى عدد معين أو جسم معين أو عملية ، لذلك يمكننا القول إن هذا العدد يمثل قيمة مقدار ذلك الجسم . وكمثال عن كيفية إتمام ذلك ، دعنا نتناول مفهوم درجة الحرارة مع اتباع خطة تتألف من خمس قواعد .

وسوف تذكر هذه القواعد الإجراء الذى عن طريقه يمكن قياس درجة الحرارة .

القاعدتان الأوليان لهذه الخطة هما نفس القاعدتين اللتين سبق أن ناقشناهما فى الفصل السابق باعتبارهما قاعدتين لتعريف المفاهيم المقارنة ، ومع ذلك فإننا نتطلع إليهما الآن باعتبارهما قاعدتين لتعريف مفهوم الكم ، بحيث نطلق على المقدار الرمز م .

تعين القاعدة ١ ، للمقدار م علاقة امبيريقية ق . وتقرر القاعدة أنه إذا انعقدت العلاقة ق م بين الموضوعين أ ، ب ، فإن الموضوعين سيكون لهما قيم متساوية للمقدار م . وفى الشكل الرمزى :

إذا كانت ق م ( أ ، ب ) ، إذن م (أ) = م (ب) .

وتعين القاعدة ٢ ، علاقة امبيريقية ل م . وهذه القاعدة تذكر أنه إذا انعقدت العلاقة ل م بين أ ، ب فإن قيم المقدار تكون أصغر بالنسبة لـ أ منها بالنسبة لـ ب ، وفى الشكل الرمزى :
إذا كانت ل م ( أ ، ب ) ، إذن م ( أ ) < م ( ب ) .

وقبل المضى إلى القواعد الثلاث الأخرى من خطتنا ، دعنا نرى أولاً كيف كانت هاتان القاعدتان تطبقان على المفهوم المقارن قبل العلمى لدرجة الحرارة ، وتطورت حينئذ إلى إجراءات كمية . تخيل أنك تعيش فى عصر قبل اختراع الترمومترات . كيف تقرر أن موضوعين متساويين فى الحرارة أو أحدهما أقل حرارة من الآخر . إننا نلمس كل موضوع بيدنا ، فإذا لم نحس بأن لأحدهما حرارة أكثر من الآخر ( العلاقة ق ) لقلنا أن أ أقل حرارة من ب . ولكن هذه مناهج ذاتية ، غير دقيقة على الإطلاق ، إذ عن طريقها ، من الصعب أن نتوصل إلى اتفاق بين الملاحظتين الأخرين . فقد يشعر شخص ما أن أن أ أكثر حرارة من ب ، وقد يلمس آخر نفس الموضوعين ويعتقد أن العكس صحيح ، وهكذا نجد أن ذكريات احساسات الحرارة تكون ملتبسة وغامضة ، ذلك أنه ربما يكون من المستحيل بالنسبة للشخص أن يقرر ما إذا كان يشعر بموضوع أدفأ فى وقت منه فى آخر يسبقه بثلاث ساعات . ولمثل هذه الأسباب فإن المناهج الذاتية التى تستخدم لتأسيس علاقات " متساوى الدفء ( ق ) " وأقل دفئاً " ( ل ) تستخدم قليلاً فى البحث الامبيريقى للقوانين العامة . ما نحتاج إليه حقاً ، هو المنهج الموضوعى لتحديد درجة الحرارة ، فهو منهج أكثر دقة من إحساسات الحرارة ، وعادة ما يتفق الفرد فيه مع الأفراد الآخرين .

والترمومتر يمدنا تماماً بمثل هذا المنهج . افترض أننا نرغب فى تحديد التغيرات التى تحدث فى درجة حرارة ماء فى إناء ـ فإننا نغمر زئبق الترمومتر فى الماء ، وعندما يسخن الماء ، يتمدد الزئبق ويرتفع فى الأنبوبة ، وعندما يبرد الماء ينكمش الزئبق وينخفض . فإذا وضعت علامة على الأنبوبة لتشير إلى ارتفاع الزئبق ، فمن السهل أن ترى إذا ما كان الزئبق يرتفع فوق أو تحت العلامة بحيث لا يحتمل أن يختلف حوله ملاحظين . فإذا لاحظت اليوم أن السائل فوق العلامة ، فلن نجد أية صعوبة فى تذكر أنها كانت بالأمس تحت العلامة . ويمكنك أن نعلن بكل ثقة أن الترمومتر يسجل اليوم درجة حرارة أعلى من الأمس . ومن السهل أن نرى كيف يمكن تحديد العلاقتين ق ر بالنسبة للمقدار ح ( درجة الحرارة ) ، عن طريق هذه الأداة . إننا نضع

ببساطة الترمومتر ملامساً لجسم أ ، وننتظر حتى يتوقف أى تغير فى ارتفاع السائل الخاضع للاختبار ، ونضع حينئذ علامة تحدد مستوى السائل . ونضع الترمومتر بنفس الطريقة على الموضوع ب . نجد أن العلاقة ق تتحدد بارتفاع السائل لنفس العلامة ، وتثبت العلاقة بين أ ، ب إذا ارتفع السائل لأخفض نقطة وذلك عندما يطبق الترمومتر على أ منه عندما يطبق على ب .

ويمكن التعبير عن القاعدتين الأوليين لتحديد درجة الحرارة ح رمزياً ، على النحو التالى :

قاعدة ١ : إذا كانت ق ر ( أ ، ب ) ، إذن تكون ح (أ) = ح (ب) .

قاعدة ٢ : إذا كانت ل ر ( أ ، ب ) ، إذن تكون ح (أ) < ح (ب) .

لاحظ أنه ليس من الضرورى ، لكى نثبت العلاقتين ق ، ل أن يكون لدينا مقياس للقيم المبينة على الأنبوبة . ومع ذلك إذا كان فى نيتنا أن نستخدم الترمومتر لتعيين القيـــم العددية لـ ح ، فمن الواضح أننا نحتاج إلى أكثر من أنبوبتين .

وتزودنا القواعد الثلاث الباقية من خطتنا بشروط إضافية مطلوبة إذ تخبرنا القاعدة ٣ أنه عندما نعين قيمة عددية مختارة للمقدار الذى نسعى إلى قياسه ، وعادة ما تكون صفراً ، فإن ذلك يتم عن طريق تعيين شىء يمكن تقديره ببساطة recognizable ، وفى بعض الأحيان شىء يمكن تقديره أو إعادة إنتاجه reproducible بسهولة ، أو حالة ويخبرنا أن نعين القيمة العددية المختارة لموضوع ما إذا كان فى تلك الحالة . ففى مقياس الترمومتر المئوى مثلاً ، تبين القاعدة ٣ قيمة الصفر للماء عندما تكون فى حالة التجمد . وأخيراً سوف نضيف بعض الصلاحيات للشروط التى تقع تحت هذه القاعدة على أن تكون موافقة ، وسوف نتقبلها الآن باعتبارها ركيزة أو قاعدة stands .

قاعدة ٤ ، وتسمى عادة بقاعدة الوحدة unit ، وهى تعين القيمة المختارة الثانية لمقدار موضوع ما عن طريق تخصيص شىء آخر يمكن تقديره ببساطة ، وحالة ذلك الموضوع الذى يمكن إعادة إنتاجه بسهولة . وعادة ما تكون هذه القيمة واحد (١) صحيح ، وربما تكون أى عدد مختلف عن العدد المحدد بالقاعدة ٣ ، وتكون مائة ( ١٠٠ ) فى المقياس السنتيمترى . وتشير إلى المياة فى حالة الغليان . ومرة أخرى ، القيمة الثانية المشار إليها تعد قاعـــدة أو أساسا a basis لتحديد وحدات درجة الحرارة المتاحة . نضع الترمومتر فى ماء منجمد ، ونحدد ارتفاع الزئبق ، ونضع له علامة الصفر ، ثم نضع الترمومتر فى ماء يغلى ، ونحدد ارتفاع السائل ،

ونضع له علامة ۱۰۰ . إننا لم نحصل بعد على المقياس ، وإنما نحصل فقط على أساس لقراءة الوحدات ، فإذا ارتفع الزئبق من علامة الصفر إلى علامة مائة ( ۱۰۰ ) درجة . وإذا كنا قد وضعنا علامة الرقم ۱۰ لأعلى عامة بدلاً من الرقم ۱۰۰ لقلنا أن رجة الحرارة قد ارتفعت عشر درجات .

والخطوة الأخيرة هى تحديد الشكل المحكم للقياس ، ويتم هذا عن طريق القاعدة ٥ ، وهى أكثر القواعد الخمس أهمية ، فهى تحدد الشروط الامبيريقية ق ت م ، التى تمكننا من القول أن الاختلافين (ت) لقيم المقدار (م) متساويان . لاحظ أننا لا نتحدث عن قيمتين ، وإنما اختلافين بين قيمتين . ونريد أن نحدد الشروط الامبيريقية التى تحتها نقول أن الاختلاف بين أى قيمتين للمقدارين بالنسبة لـ أ وبالنسبة لـ ب هما نفس الاختلاف بين المقدارين الآخرين ، أى بالنسبة لـ جـ وبالنسبة لـ د . وتأخذ القاعدة الخامسة الشكل الرمزى التالى :

إذا كانت ق ت م ( أ ، ب ، جـ ، د ) ، إذن تكون م (أ) ـ م (ب) = م (جـ) ـ م (د) .

وتخبرنا القاعدة أنه إذا كانت هناك شروط امبيريقية معينة مثلت بـ ق ت م فى صيغة رمزية ، وجعلناها لقيم المقدار الأربع ، فإننا نقول أن الاختلاف بين القيمتين الأوليين هو نفسه الاختلاف بين القيمتين الأخريين .

وفى حالة درجة الحرارة ، تتعلق الشروط الامبيريقية بحجم المادة الخاضعة للاختبار ، وأقصد المادة المستخدمة فى الترمومتر ، وهى فى مثلنا الزئبق . ينبغى أن نرسم الترمومتر وفقاً لشروط معينة ، ولذلك ، عندما يكون الاختلاف بين أى حجمين للزئبق أ ، ب مساوياً للاختلاف بين أى حجمين جـ ، د ، فإنه سوف يعطى المقياس اختلافات متساوية فى الترمومتر .

فإذا كان للترمومتر مقياس مئوى ، فإن إجراء توفر شروط القاعدة ٥ سيكون بسيطاً ، وينحصر الزئبق فى بصيلة الترمومتر (١) فى واحدة من نهاية الأنبوبة الرهيفة جدا ، على أن رهافة الأنبوبة شىء غير أساسى ، ولكن له قيمة علمية كبرى ، لأنه يجعل من السهل أن نلاحظ التغيرات الضئيلة جدا فى حجم الزئبق . وينبغى أن تصنع الأنبوبة الزجاجية بعناية بحيث يكون قطرها الداخلى منتظماً . ونتيجة لذلك يمكن ملاحظة الزيادات المتساوية فى حجم الزئبق باعتبارها مسافات متساوية بين العلامات بطول الأنبوبة . وإذا أشرنا إلى المسافة بين العلامات عندما يلامس الترمومتر الجسم أ والجسم ب ، على اعتبار أن " د ( أ ، ب ) " إذن لأمكن

التعبير عن القاعدة ٥ رمزياً على النحو التالى :

إذا كانت د ( أ ، ب ) = د ( ج ، د )، إذن تكون ح (أ) ـ ح (ب) = ح (جـ) ـ ح (د) .

ونطبق الآن القاعدتين ٣ ، ٤ ، بأن نضع الترمومتر فى ماء متجمد ، ونستخدم " الصفر " كعلامة لمستوى الزئبق فى الأنبوبة ، ثم نضع الترمومتر فى ماء يغلى ، ونعلم مستوى الزئبق بـ (١٠٠) . وعلى أساس القاعدة ٥ يمكننا الآن تقسيم الأنبوبة إلى مائة مسافة متساوية بين الصفر والمائة . ويمكن لهذه المسافات أن تستمر أسفل الصفر إلى النقطة التى يصل فيها الزئبق إلى التجمد، وكذلك يمكن أن تستمر أعلى الـ ١٠٠ إلى النقطة التى يصل فيها الزئبق إلى درجة الغليان أو التبخر . فإذا صمم عالمان فيزيائيان الترمومترات الخاصة بهما بهذه الطريقة ، واتفقا على جميع الإجراءات المحددة بالقواعد الخمس ، فإنهما سوف يتوصلان إلى نتائج متماثلة عندما يقيسان درجة حرارة نفس الموضوع ، ونعبر عن هذه الموافقة بقولنا أن العالمين يستخدمان نفس مقياس درجة الحرارة ، وأن القواعد الخمس تحدد مقياساً واحداً المقدار الذى يقومان بتطبيقه .

لكن كيف أجمع العلماء على نموذج دقيق للقياس لكى يستخدم فى قياس مقدار ما ؟ ربما كان إجماعهم مواضعياً إلى حد ما ، وبصفة خاصة أن ذلك الإجماع يتضمن اختيار النقاط التى فى القاعدتين ٣ ، ٤ ، غير أن وحدة الطول ، وهى المتر ، قد تحددت الآن باعتبارها الطول فى الفضاء ( الخالى من الهواء والمادة vacuum وهو ١٦٥٦٧٦٣١٨٣ر١ من أطوال موجة نمط معين من اشعاع يصدر عن ذرة الكربتون ٨٦ Krypton (٢) . أما وحدة الكتلة أو الوزن ، وهى الكيلو جرام فإنها تحسب على أساس النموذج الأصلى للكيلوجرام المحفوظ فى باريس . أما فيما يختص بدرجة الحرارة على اعتبار أنها تقاس بمقياس مئوى ، وهو الصفر والمائة المشار إليهما ، فهى ملائمة لتجمد وغليان الماء لعـدة أسباب . ففى مقياس النهرنهايت أو المقياس المسمى بمقياس كلفن Kelvin للحرارة المطلقة ، يتم اختيار أنواع أخرى من المواد لنقطتى الصفر والمائة ، وعلى أية حال ، فإن المقاييس الثلاثة كلها تعتمد بشكل أساسى على نفس إجراءات القواعد الخمس ، وهى لذلك ربما تعد أساسية لنفس أشكال القياس . إذ أن الترمومتر المخصص لقياس درجة حرارة الفهرنهايت ، يصمم بنفس الطريقة التى يصمم بها الترمومتر المخصص لقياس الدرجة المئوية تماماً ، انهما يختلفان فقط فى الطريقة التى تم التدرج على أساسها . ولهذا السبب ، يسهل ترجمة القيم من مقياس لآخر .

فإذا تبنى عالمان إجراءات مختلفة تماماً لقواعدهما الخمس ، فأقام عالم منهما علاقة متبادلة

بين درجة الحرارة وتمدد حجم الزئبق ، والآخر بين تمدد قضيب من حديد أو تأثير الحرارة على اندفاع الكهرباء من خلال جهاز معين ، حينئذ سوف يختلف مقياسهما تماماً من حيث الشكل . وربما يتفق المقياسان بالطبع ، وإلى حد بعيد مع القاعدتين ٣ ، ٤ فى هذا الشأن . ولكن إذا اختار كل من العالمين درجات حرارة تجمد وغليان الماء باعتبارهما نقطتين يحددان وحداتهما ، حينئذ سوف يتفقان بالطبع عندما يقيسان درجة حرارة تجمد أو غليان الماء . ولكن عندما يطبقان الترمومترات الخاصة بكل منهما على وعاء من ماء دافىء ، لربما حصل كل منهما على نتائج مختلفة ، وربما كانت طريقة التحويل من مقياس لآخر صعبة .

على أن القوانين التى تعتمد على شكلين مختلفين من المقياس ، لا يمكن أن يكون لها نفس الصيغة ، إذ ربما يؤدى مقياس إلى قوانين لا يمكن التعبير عنها بمعادلات بسيطة جداً ، وربما يؤدى المقياس الآخر إلى قوانين تتطلب معادلات معقدة جداً . والنقطة الأخيرة هذه ، هى التى تجعل اختيار إجراءات القواعد الخمس هامة إلى حد بعيد ، على العكس من السمة الأكثر تحكماً للقاعدتين ٣ ، ٤ . فالعالم يختار هذه الإجراءات ، بقدر الإمكان ، بهدف تبسيط قوانين الفيزياء الأساسية .

وفى حالة درجة الحرارة ، فهذا هو مقياس كلفن للحرارة المطلقة الذى يؤدى إلى أقصى درجة من التبسيط فى قوانين الديناميكا الحرارية . وربما يعتقد أن المقياس المئوى والفهرنهيتى يختلفان عن المقياس المطلق ، والحقيقة أنهما يختلفان فقط فى التدرج ، ومن السهل تحويلهما إلى مقياس مطلق . أما الترمومترات البدائية ، فقد كانت تستخدم سوائل مثل الكحول والزئبق لاختبار المواد ، وأيضاً الغازات التى تحفظ تحت ضغط ثابت ، لتجعل التغيرات فى درجة الحرارة تغير أحجامها . ووجد أنه مهما كانت المواد المستخدمة ، فإنها يمكن أن تقرر أشكال قياس متماثلة على وجه التقريب ، ولكن عندما صنعت أدوات أكثر دقة ، أمكن ملاحظة اختلافات طفيفة . ولا أعنى بذلك مطلقاً أن المواد تتمدد بمعدلات مختلفة عندما تسخن ، ولكن بالأحرى ، أن شكل المقياس نفسه يختلف إلى حد ما ، اعتماداً على ما إذا كانت المادة المستخدمة هى زئبق أم هيدروجين .

وأخيراً ، اختار العلماء المقياس المطلق على اعتبار أنه يؤدى إلى القوانين الأبسط ، والحقيقة المدهشة هى أن شكل هذا المقياس لم يتحدد وفقاً لطبيعة مادة اختبار معينة ، وإنما هو أقرب إلى مقياس الهيدروجين أو أى غاز آخر منه إلى مقياس الزئبق ، ولكنه لا يتشابه تماماً مع أى

مقياس للغاز . وفى بعض الأحيان يدور الكلام عنه بوصفه " غازاً مثالياً " ، ولكن هذه طريقة فى الحديث فقط .

وفى الممارسة الفعلية ، يستمر العلماء بالطبع فى استخدام الترمومترات التى تحتوى على الزئبق أو سوائل اختبار أخرى لها مقاييس تقترب من المقياس المطلق إلى أقصى درجة ، وحينئذ يحولون درجات الحرارة المعتمدة على هذه المقاييس إلى مقياس مطلق ، وذلك عن طريق تصحيح صيغ معينة . فالمقياس المطلق يسمح بصياغة قوانين الحرارة الديناميكية بأبسط وسيلة ممكنة ، لأن قيمه تعبر عن كميات الطاقة أكثر من التعبير عن حجم تغيرات المواد المختلفة . أما القوانين المشتملة على درجة حرارة ، فسوف تكون أكثر تعقيداً بكثير إذا استخدم أى مقياس آخر .

ومن الأهمية بمكان ، أن نفهم أننا لا نستطيع أن ندعى بحق أننا نعرف ما نعنيه بوحدة أى مقدار كمى قمنا بصياغة قواعد لقياسه . وربما كان يعتقد أن العلم الأول يطور مفهوم الكمية ، وحينئذ يبحث عن طريق قياسه . بيد أن مفهوم الكمية يتطور بالفعل خارج عملية القياس . ولم يكن من المستطاع إضفاء معنى محكم لمفهوم درجة الحرارة حتى تم اختراع الترمومترات بالفعل . ولقد أكد أينشتين على هذه النقطة فى المناقشات التى أدت إلى نظرية النسبية . فقد كان مهتماً بشكل أولى بقياس المكان والزمان . وأكد على أننا لا يمكننا أن نعرف بالضبط ما هو المعنى بمثل هذه المفاهيم مثل " مساواة الدوام " equality of duration أو " مساواة المسافة " ( فى المكان ) أو " حدوث حادثين متباعدين فى وقت واحد " ، وهكذا ، بدون تعيين الأجهزة والقواعد التى يمكن عن طريقها قياس مثل هذه المفاهيم .

ولقد رأينا فى الفصل الخامس ، أن ثمة مظاهر مواضعية ومظاهر غير مواضعية فى تبنى إجراءات للقواعد ١ ، ٢ . وهناك موقف شبيه بهذا بخصوص القواعد ٣ ، ٤ ، ٥ . هناك مدى معين لاختيار فى الإقرار بإجراءات لهذه القواعد ،وإلى هذا الحد ، تعد هذه الأحكام مسائل مواضعية ، ولكنها ليست مواضعية تماماً ، إذ أن المعرفة الفعلية ضرورية لكى نقرر أى أنواع المواضعات نختارها دون الوقوع فى تعارض مع وقائع الطبيعة ، وينبغى أن تكون البناءات المنطقية المختلفة مقبولة ، لكى نتجنب عدم الاتساق المنطقى .

فقد تقرر مثلاً أن نأخذ الصفر نقطة لتجمد الماء فى مقياس درجة حرارتنا ، لأننا نعرف أن حجم الزئبق فى الترمومتر الخاص بنا سوف يكون هو نفسه دائماً عندما نضع بصيلة الترمومتر

فى ماء متجمد . فإذا وجدنا أن الزئبق قد ارتفع إلى درجة واحد عندما استخدمنا الماء المتجمد الذى حصلنا عليه من فرنسا ، وإلى ارتفاع مختلف عندما استخدمنا الماء الذى حصلنا عليه من الدانمارك ، أو أن الارتفاع اختلف مع كمية الماء المتجمد ، لما كان الماء اختياراً مناسباً لتطبيق القاعدة الثالثة .

كما أن هناك عنصرا امبيريقياً شبيهاً يدخل بوضوح فى اختيارنا للماء المغلى ليحدد نقطة المائة . إنها واقعية الطبيعة ، وليست مسألة مواضعة ، ذلك أن درجة حرارة جميع المياه التى فى حالة غليان ، واحدة . ( ونفترض أننا قد أسسنا بالفعل القاعدتين ١ ، ٢ ، ولذلك نحتفظ بوسيلة لقياس مساواة درجة الحرارة ) ولكن ينبغى علينا هنا أن ندخل تعديلاً . إذ أن درجة حرارة الماء المغلى تكون واحدة فى نفس الموقع ، ولكن فوق جبل عال ، حيث يكون ضغط الهواء أقل ، فإن الماء يغلى عند درجة حرارة أقل قليلاً منها عند سطح الجبل

ولكى تستخدم نقطة غليان الماء بحيث ترضى متطلبات القاعدة الرابعة ، علينا إما أن نضيف استخدام الماء المغلى فى ارتفاع معين ، أو نطبق عامل تصحيح إذا لم يكن عند ذلك الارتفاع . وبحديث أكثر دقة ، حتى عند هذا الارتفاع المحدد ينبغى أن نتأكد عن طريق مقياس الضغط الجوى ( البارومتر ) أننا حصلنا على ضغط هواء معين ، أو أن التصحيح يمكن أن ينطبق هناك أيضاً ، إذ أن التصحيح يعتمد على حقائق امبيريقية ، وليست مواضعية تدخل فيها العوامل بشكل تحكمى .

وعند إيجاد معايير امبيريقية لتطبيق القاعدة ٥ التى تحدد شكل مقياسنا ، علينا أن نبحث عن شكل يعطى أبسط قوانين ممكنة . ومرة أخرى ندخل هنا مظهراً غير مواضعى فى اختيار القاعدة ، لأن وقائع الطبيعة تحدد الموازين التى نبحث عنها بغرض التبسيط .

وأخيراً فإن استخدام الأعداد كقيم لمقياسنا يتضمن بناء علاقات منتظمة لا تكـــون مواضعية ، لأننا لا نستطيع أن نتخلى دون الوقوع فى شباك التناقضات المنطقية .

***

**الهوامش**

١ ـ أى مستودع الزئبق فيه . ( المترجم ) .

٢ ـ الكريتون ، عنصر غازى عديم اللون . ( المترجم )

## الفصل السابع

# المقادير الممتدة

يتطلب قياس درجة الحرارة ، كما تعلمنا فى الفصل السادس ، خطة مكونة من خمس قواعد . فهل هناك مفاهيم فى الفيزياء يمكن قياسها باستخدام خطط أبسط ؟ نعم هناك عدد كبير من المقادير ، تسمى " المقادير الممتدة " يمكن قياسها بمساعدة خطط القواعد الثلاث - Three " rule Schemas .

وتنطبق خطط القواعد الثلاث على المواقف التى إذا اتحد فيها شيئان أو انضما معاً بطريقة ما ، لأنتجا شيئاً جديداً بحيث تكون قيمة المقدار م لهذا الشيء الجديد تساوى مجموع قيم م بالنسبة للشيئين المنضمين . فالثقل مثلاً ، مقدار ممتد . فإذا وضعنا جسماً يزن خمسة أرطال ، وجسماً آخر يزن رطلين معاً ، فإن وزن الجسمين المتحدين معاً سوف يكون سبعة أرطال . أما درجة الحرارة فإنها تختلف عن هذا المقدار ، لأنه لا يمكن ، عن طريق إجراء بسيط ، أن تأخذ شيئاً وتقول أن درجة حرارته ستون درجة ، ونضمه إلى شيء درجة حرارته أربعين درجة ، فنأتى بشيء جديد درجة حرارته مائة درجة .

على أن الإجراءات التى نتبعها لضم المقادير الممتدة تختلف بشدة من مقدار لآخر . ففى الحالات البسيطة يكون الإجراء مجرد وضع جسمين معاً ، أو لصقهما معاً ، أو ربما تركهما جنباً إلى جنب ، مثل ثقلين على نفس كفة الميزان ، والحياة اليومية مليئة بتلك الأمثلة ، فسعة صف من الكتب على رف هو مجموع سعة كل كتاب على حدة ، كما أننا لو تناولنا كتاباً وقرأنا عشر صفحات منه ، وفى نهاية اليوم قرأنا عشر صفحات أخرى لكان مجموع ما قرأناه عشرين صفحة . كما أننا لو اكتشفنا بعد امتلاء جزء من حوض الاستحمام ( البانيو ) ، أن الماء ساخن جداً ، فأضفنا بعضاً من الماء البارد ، لكان الحجم للماء فى حوض الاستحمام هو مجموع كميات الماء الساخن والبارد الذى اندفع من الصنابير . وغالباً لا يتم ذكر الإجراء الذى يتبع لضم أشياء خاصة بمقدار ممتد معين ، بصراحة . وعدم ذكر هذا الإجراء يعد مخاطرة عملية ، يمكن أن تؤدى

إلى فرض شديد وسوء فهم ، لأن هناك طرقاً عديدة لأشياء يمكن ضمها ، ومن الضرورى ألا نفترض أن طريقة الضم هذه مفهومة . ولذلك ينبغى أن يذكر الإجراء بصراحة ، ويُعرّف بوضوح ولقد فعلنا هذا من قبل ، فالمقدار يمكن قياسه باستخدام خطة القاعدة الثالثة .

أما القاعدة الأولى ، فهى تقدم ما يسمى بمبدأ الإضافة أو " الإضافية " addivity " وينص هذا المبدأ على أنه عندما يؤلف شيء مضموم مركبين ، فإن قيمة مقدار هذا الشيء تساوى المجموع الحسابى لقيم مقدار المركبين . وأى مقدار يخضع لهذه القاعدة ، يطلق عليه اسم " المقدار المضاف " . والثقل مثال شبيه بهذا ، فالعملية المصاحبة فى تلك الحالة إنما هى ببساطة وضع الشيئين معاً ووزنهما باعتبارهما شيئاً واحداً . فإذا وضعنا الشيء أ على كفة ميزان ولاحظنا وزنه ، ثم وضعناه مع الشيء ب ولاحظنا وزنه ، ثم وضعنا الشيئين على كفة الميزان ، فإن هذا الشيء الجديد ليس سوى أ ، ب موضوعين معاً ، وسوف يكون له وزن بالطبع يساوى المجموع الحسابى لأوزان أ و ب .

وإذا كانت هذه هى المرة الأولى التى يطلع فيها القارىء على هذه القاعدة ، فإنه ربما يعتقد أنها غريبة ، وأن من التفاهة أن نذكر مثل هذه القاعدة . ولكن لمتطلبات التحليل المنطقى للمنهج العلمى ، لابد أن نجعل كل شيء واضحاً ، وأن نتناول كل الموضوعات التى يسلم بها رجل الشارع ، وكل ما علينا هو أن نضعها فقط فى كلمات . وبالطبع لا يمكن لأحد أن يعتقد أنه إذا وضع حجراً يزن خمسة أرطال على ميزان ، بجانب حجر آخر يزن سبعة أرطال ، أن الميزان سوف يسجل وزنا إجماليا لهما مقداره سبعين رطلاً أو ثلاثة أرطال . إذ أننا نسلم جدلاً أن الوزن الناتج مقداره أثنى عشر رطلاً . ومن المفهوم مع ذلك ، أنه فى عالم ما آخر غير عالمنا قد لا تسلك الأشياء بنفس الطريقة الموافقة لنمط الإضافة ، ولذلك ينبغى علينا أن نجعل قاعدة الإضافة الخاصة بالثقل بسيطة ، وذلك عن طريق إدخال هذه القاعدة الإضافية : إذا تجاور جسمان وتم وزنهما باعتبارهما شيئاً واحداً ، فإن الوزن الكلى لهما يصبح مجموعاً حسابياً للأوزان المركبة .

كما ينبغى إدخال قواعد مماثلة لكل مقدار ممتد . فالطول الفراغى Spatial Length مثال آخر مماثل . فإذا كان لجسم حافة مستوية أ ، ولجسم آخر حافة مستوية ب ، ووضعنا الجسمين معاً ، لامتدت الحافتان بترتيب فى خط مستقيم واحد . هذا الكيان الفيزيائى الجديد ـ الخط المستقيم المكون من اتحاد أ و ب ـ لابد أن يكون له طول ، هذا الطول ، إنما هـو مجمـوع

أطـوال أ و ب .

ولم تكن الصياغات المبكرة لقاعدة الإضافة الخاصة بالطول ـ فى الغالب ـ مرضية . فعلى سبيل المثال ، قال بعض المؤلفين أننا لو أضفنا طولين أ و ب ، فإننا نحصل على طول جديد عن طريق إضافة الطول أ إلى الطول ب . وهذه طريقة ركيكة للغاية بالنسبة لصياغة قاعدة ، إذ أن نفس الجملة تستخدم كلمة " يضيف " add بطريقتين مختلفتين تماماً ، فهى تستخدم فى الأولى بمعنى ضم joining موضوعين فيزيائيين بوضعهما معاً بطريقة معينة ، وفى الثانية تستخدمها بمعنى العملية الحسابية للإضافة . ومن الواضح أن هؤلاء المؤلفين لم يعرفوا أن المفهومين مختلفان ، لأنهم عندما تسرعوا فى ترميز القاعدة ، كتبوها بهذه الطريقة :

ل ( أ + ب ) = ل (أ) + ل (ب) .

وخلافاً لهؤلاء ، هناك بعض المؤلفين الذين أكن لهم إعجاباً شديداً ، كانوا يشعرون بالأسف الشديد من هذه الصياغة السمجة ، وهى تلك الصياغة التى تستخدم الكلمة " يضيف " بمعنى الإضافة والضم وترمز لها بنفس الرمز مرتين . والحقيقة أن الرمز " + " الثانى ( الذى على يسار المعادلة ) يشير إلى عملية حسابية ، أما الرمز " + " الأول ( الذى على يمين المعادلة ) فهو ليس بعملية حسابية على الإطلاق . إذ أنك لا تستطيع أن تضيف خطين حسابياً ، ولكن ما تضيفه ليس الخطوط ، وإنما هو أعداد تمثل أطوال الخطوط ، ولقد شددت دائماً على أنه ينبغـى التمييز بين الإضافة الحسابية ونوع الإضافة التى تنظم عملية ضم أو اتحاد فيزيائى . وهذا التمييز يساعدنا كثيراً إذا ما تابعنا همبل ( الذى كتب كثيراً عن المقادير الممتدة ) فى إدخال رمز خاص ، وهو عبارة عن دائرة صغيرة " ○ " لعملية الضم الفيزيائى . ويساعدنا هذا الرمز ، وبشكل مُرْضٍ للغاية فى ترميز قاعدة الإضافة بالنسبة إلى الطول :

ل ( أ ○ ب ) = ل (أ) + ل (ب) .

ويمكن صياغة ضم الأطوال رياضياً على هذا النحو :

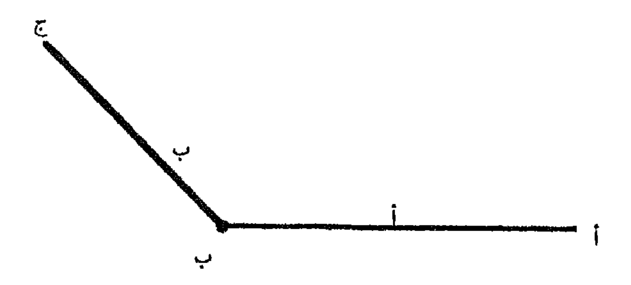
أ ب

ل (أ) ل (ب)

ل ( أ ○ ب ) { وليس " ل ( أ + ب ) } .

وعلى الرغم من أنه فى حالة الوزن ، لا يهم تماماً كيفية وضع جسمين معاً على الميزان ، إلا

أن هذا يعد مهماً للغاية فى حالة الطول . افترض مثلاً أن جزءين من خط واحد كانا على هذا النحو :




إنهما مرتبطان بطرفيهما ، ولكنهما ليسا فى خط مستقيم . ومن ثم لا تكون المسافة بين النقطتين أ و جـ هى مجموع أطوال أ و ب . لذلك ينبغى أن نكون على حذر دائماً ، وأن نحدد تماماً ما نعنيه بعملية الضم .

والآن يمكننا أن نرمز إلى المبدأ العام بالإضافة ، بالنسبة لأى مقدار ممتد م بالطريقة التالية :
م ( أ O ب ) = م (أ) + م (ب) .

فالرمز " O " ، فى هذا التقرير ، يدل على إجراء معين لضم أ و ب . ومن الأفضل أن نجعل هذا المبدأ هو القاعدة الثانية من قواعدنا الثلاث ، بَدَل أن نجعله القاعدة الأولى . إذ أن القاعدة الأولى تعد أبسط من هذه ، وهى الخاصة بقاعدة المساواة . وهى نفس القاعدة الأولى من القواعد الخمس ( قواعد الخطط الخمس ) لقياس درجة الحرارة . فهى تحدد الإجراء الذى نعرف عن طريقه مساواة المقدار . ففى حالة الثقل نقول أن للجسمين نفس الثقل ، إذا وضعنا أحدهما على كفة ميزان ، والآخر على الكفة الأخرى ، وظلت الكفتان متوازنتين .

وتنطابق القاعدة الثالثة مع القاعدة الرابعة من القواعد الخمس ، وهى الخاصة بدرجة الحرارة . فهى تحدد قيمة المقدار . وعادة يتم هذا عن طريق اختيار موضوع أو عملية طبيعية يمكن تكرارها بسهولة ، وعندئذ يتم تعريف وحدة المقدار فى حدود ذلك الموضوع أو العملية . وكنت قد ذكرت فيما سبق مثالين لهذا : المتر ، الذي يعتمد على أطوال موجة نموذج معين من الضوء ، والكيلو جرام الذى يعتمد على النموذج العالمى الأصلى فى باريس . ويعد المتر والكيلوجرام وحدات القياس للطول والوزن فى النظام المترى للمقياس .

ولكى نلخص نهجنا الخاص بقياس أى مقدار ممتد ، نذكر القواعد الثلاث الآتية :

١ ـ قاعدة المساواة

٢ ـ قاعدة الإضافة .

٣ ـ قاعدة الوحدة .

ولأن هذا النسق يعد أبسط من نسق القواعد الخمس الذى ناقشناه فيما سبق ، فلماذا لا نستخدمه دائماً ؟ الإجابه بالطبع هى أنه بالنسبة للعديد من المقادير ، لا توجد عملية ضم يمكنها أن تمدنا بأساس أو قاعدة لمبدأ الإضافة . ولقد رأينا بالفعل أن درجة الحرارة ليست مقداراً مضافاً ، كما أن حدة ( شدة ) الصوت ، وصلابة الأجسام يعدان مثلين آخرين . فبالنسبة لهذه المقادير لا نستطيع أن نعثر علي عملية ضم أوربط . إذ أنها مقادير غير ممتدة -nonexten sive أو هى مقادير كثيفة intensive ومع ذلك . هناك عدد كبير من مقادير الإضافة فى الفيزياء ، يمدنا النهج الثلاثى السابق على أساس مناسب لقياسها جميعاً .

ويعتبر بعض العلماء وفلاسفة العلم أن المصطلحين " مقادير ممتدة " و " مقادير مضافة " مترادفان ، ولكن هناك بعض المؤلفين الآخرين الذين يميزون بينهما . وإذا ما تناولنا مثل هذا التمييز ، فإنه يبدو على النحو التالى : نسمى مقداراً ما ممتداً ، إذا كنا نستطيع أن نفكر فى عملية ، تبدو طبيعية للضم ، ولها ميزان يمكن اختراعه ، واكتشفنا أنه بالنسبة إلى هذا الميزان الذى وقع عليه اختيارنا ، والعملية المختارة ، انعقد مبدأ الإضافة ، إذن لقلنا أنه مقدار مضاف ، تماماً كقولنا أنه مقدار ممتد . ويمكننا فى هذه الحالة أن نقول عنه أنه مقدار مضاف ـ ممتد an additive - extensive أما إذا لم ينعقد مبدأ الإضافة أطلقنا عليه اسم المقدار اللا مضاف ـ ممتد a nonadditive - extensive .

بيد أن معظم مقادير الفيزياء الممتدة مضافة ، ولكن هناك بعض الاستثناءات والمثال الشهير لذلك ، هو المعرفة النسبية فى نظرية النسبية الخاصة . ففى الفيزياء الكلاسيكية ، تعد السرعات النسبية على خط مستقيم مضافة بالمعنى التالى : إذا تحركت الأجسام أ ، ب ، جـ فى خط مستقيم فى نفس الاتجاه ، وكانت سرعة ب بالنسبة إلى أ هى س١ ، وسرعة جـ بالنسبة إلى ب هى س٢ ، إذن لكانت سرعة جـ بالنسبة إلى أ هى س٣ فى الفيزياء الكلاسيكية ، وكانت تؤخذ ببساطة باعتبرها مساوية لـ س١ + س٢ . أيضاً إذا سرت إلى الأمام نحو ممشى طائرة تطير فى خط مستقيم نحو الغرب ، فما هى سرعتك النسبية إلى الأرض غرباً ؟ قبل اكتشاف

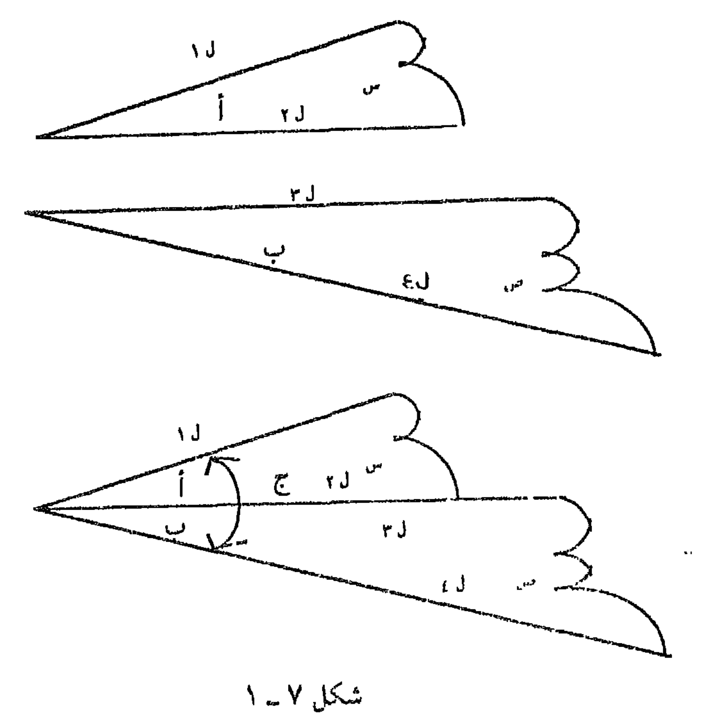
نظرية النسبية، كان من الممكن الإجابة ببساطة على هذا السؤال عن طريق إضافة سرعة الطائرة إلى سرعة سيرك إلى الأمام داخل الطائرة . أما اليوم فإننا نعرف أن السرعات النسبية ليست مضافة ، وإننا ينبغى أن نستخدم المعادلة الخاصة التى تكون فيها سرعة الضوء واحدة من المتغيرات . إذ عندما تكون السرعات صغيرة بالنسبة للضوء يمكن معالجتها باعتبارها مضافة . أما إذا كانت السرعات كبيرة إلى حد بعيد فإننا نستخدم جـ فى المعادلة ، باعتبارها سرعة الضوء :

$$\text{س}_3 = \frac{\text{س}_1 + \text{س}_2}{1 + \frac{\text{س}_1\,\text{س}_2}{\text{ج}^2}}$$

تخيل مثلاً أن سفينة فضاء ف١ تتحرك فى مسار مستقيم ، وتمر على الكوكب ك بسرعة نسبية س١ . وتسافر سفينة الفضاء ف٢ ، فى نفس الاتجاه وتمر على سفينة الفضاء ف١ بسرعة س٢ ( بالنسبة إلى ف١ ) . فما هى السرعة النسبية س٣ لسفينه الفضاء ف٢ ، بالنسبة إلى الكوكب ك ؟ إذا كانت السرعات س١ و س٢ لسفينتى الفضاء صغيرة ، نضيف قيمة الكسر إلى الـ ١ أسفل الخط على يسار المعادلة ، وفى هذه الحالة تكون ضئيلة جداً بحيث يمكن تجاهلها . وعندئذ نحصل على س٣ ببساطة بإضافة س١ و س٢ . أما إذا كانت سفينتا الفضاء تسافران بسرعات كبيرة جداً ، فلا بد أن نضع فى الاعتبار عامل سرعة الضوء جـ . وحينئذ تبتعد س٣ ، وبشكل خطير ، عن المجموع البسيط لـ س١ و س٢ . وإذا درست المعادلة جيداً سوف ترى كيف تقترب السرعات النسبية تقريباً من سرعة الضوء ، وأن مجموع السرعتين لا يمكن أن يتجاوز أبداً سرعة الضوء . ومن ثم نستنتج أن السرعة النسبية فى نظرية النسبية الخاصة ممتدة ( لأن عملية الضم يمكن أن تكون متعينة ) ولكنها ليست مضافة .

وهناك أمثلة أخرى للمقادير الممتدة ـ غير المضافة وهى الدوال المساحية للزوايا trigo-nome functions of angels . افترض أن لديك زاوية أ المحصورة بين الخطين المستقيمين ل١ و ل٢ من قطعة لوح معدن س ( أنظر الشكل ٧ ـ ١ ) .

وقطعة أخرى من لوح معدن ص ، زاويتها ب محصورة بين المستقيمين ل٣ و ل٤ . وضممنا




شكل ٧ ـ ١

الزوايتين بوضعهما معاً على سطح منضدة بحيث يتطابق رأساهما ، ويتطابق المستقيم ل٢ الخاص بـ س مع المستقيم ل٣ الخاص بـ ص . فمن الواضح أن الزاوية جـ المحصورة بين ل١ و ل٤ هى نتيجة لضم الزاويتين أ و ب . على ذلك يمكننا أن نقول أنه عندما تضم زوايا بهذه الطريقة ، ويتم قياسها بالوسيلة المعتادة ، فإن قيمتها لا تعد مضافة إذا أخذنا مقدارنا باعتباره واحداً من الدوال الخاصة بحساب المثلثات ، مثل جيب كل زاوية على حدة . وإذا رغبنا فى ذلك ، يمكننا أن نطلق عليه اسم جيب المقدار الممتد ( لأننا نكون قد أجرينا عملية ضم ) وليست إضافة . ومن ناحية أخرى ، ينبغى أن نقرر أننا لا نرغب فى أن نطلق عليه اسم الجيب الممتد ، لأن عملية الضم لا تضم الجيوب بالفعل ، إنما تضم الزوايا ، ولكن هذا ليس هو نفس الأمر تماماً ، بالنسبة لوضع الجيوب معاً . ومن وجهة النظر الثانية هذه ، لا يعد الجيب ممتداً .

ومن ثم يصبح المعيار الذى افترضناه لتقرير ما إذا كان المقدار ممتداً من عدمه ـ وكم رأينا ـ ليس دقيقاً . وعليه فإذا استطعنا ـ وكما سبق القول ـ أن نفكر فى عملية تبدو لنا عملية طبيعية للضم بالنسبة للمقدار المقاس ، فإننا نطلق عليها حينئذ العملية الممتدة . وربما يقول شخص ما أنه بالنسبة له فإن عملية وضع زاويتين جنباً إلى جنب إنما هى طريقة طبيعية تماماً لضم جيوب . وطبقاً لهذا الشخص فإن الجيب مقدار ممتد وليس مضافاً . وربما يقول شخص آخر أن هذه

العملية تصلح تماماً لضم زاويتين ولا تصلح لضم جيوب . وبالنسبة لذلك الشخص فإن الجيب ليس ممتداً . وبكلمات أخرى هناك حالات محددة نعرف فيها ما إذا كان المقدار ممتداً أم لا ، أو بعبارة أخرى فإن هذا الأمر ليس موضوعاً ذاتياً . لأن الحالات التى تكون فيها المقادير ممتدة وغير مضافة نادراً ما تكون نسبية أو حتى موضع شك ( وهى كذلك، لأننا لسنا مرغمين على أن نقبل العملية المقترحة باعتبارها واحدة من الضم الصحيح ) ومن المفهوم تماماً أنه يمكن للمؤلفين أن يستخدموا " ممتد " و " مضاف " باعتبارهما مصطلحين مترادفين . ولسنا بحاجة لانتقاد مثل هذا الاستخدام . فبالنسبة لهؤلاء المؤلفين ينطبق " الممتد " على المقدار فقط ، وإذا كانت هناك عملية ضم بالنسبة له ينعقد مبدأ الإضافة ، كما ينعقد للطول والوزن ، ولعديد من المقادير العامة للفيزياء .

والآن هناك بعض الملاحظات حول مقياس الفواصل الزمنية والأطوال الفراغية على الترتيب ، لأن هذين المقدارين ـ بمعنى معين ـ يعتبران أساسيين فى الفيزياء .، إذ نستطيع أن نقيسهما مرة ، وأن نعرفهما مرات أخرى . وعلى الرغم من أننا لا نستطيع أن نعرفهما بشكل قطعى ، إلا أننا يمكننا أن نقدمهما أخيراً عن طريق قواعد إجرائية تستخدم مفاهيم البعد فى المكان أو الزمان .

وربما نستطيع أن نتذكر على سبيل المثال أننا فى القواعد الخاصة بمقياس درجة الحرارة ، استخدمنا مفهوم حجم الزئبق ، وطول عمود الزئبق فى الأنبوبة . وفى ذلك المثال افترضنا أننا عرفنا بالفعل كيف نقيس الطول . ومن أجل قياس العديد من المقادير الأخرى فى الفيزياء ، يتم استدلال مشابه لمقاييس الطول فى المكان ، والدوام فى الزمان . وبهذا المعنى ، ربما يلاحظ الطول والدوام باعتبارهما مقادير أولية . وسوف نناقش فى الفصل الثامن والتاسع الإجراءات التى عن طريقها يتم قياس الزمان والمكان .

***

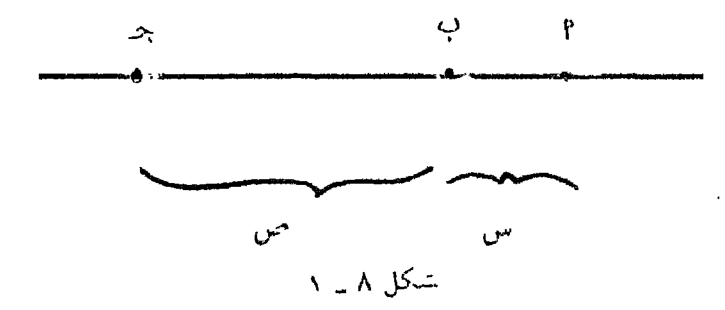
## الفصل الثامن

# الزمـــان

ما نوع العملية المتصلة التى يمكن أن تستخدم لضم فواصل الزمان ؟ سنواجه فى الحال بصعوبة شديدة . لأننا لا يمكننا أن نعالج الفواصل الزمانية بنفس الطريقة التى نعالج بها المسافات المكانية ، أو بعبارة أكثر تحديداً ، تدل نهايات الأجسام الصلبة على فواصل مكانية ، فى حين لا توجد حدود قاطعة للزمان يمكن وضعها جنباً إلى جنب لتؤلف خطاً مستقيماً .

ولنفترض هذين الفاصلين : طول حرب معينة أو طلقة نار وحتى آخر طلقة فيها ، ودوام عاصفة رعدية معينة منذ أول قصفة رعد فيها وحتى آخرها . كيف يمكننا ضم هذين الدوامين ؟ لا شك أن لدينا هنا حادثين متفرقين لكل منهما طول معين من الزمن ، ولكن ليس ثمة وسيلة لاستحضارهما معاً . وبالطبع لو كان هذان الحادثان قد وقعا معاً فى زمن سابق، لأمكننا أن نتعرف على تلك الحقيقة ، ولكننا لا نستطيع أن نبدل الحوادث من حولنا كما نبدل نهايات الموضوعات الفيزيائية .

وأفضل شيء يمكن فعله هو أن نتمثل فاصلين زمنيين فى مقياس تصورى . افترض أن لدى حادثاً س تحرك النقطة الزمنية أ إلى النقطة الزمنية ب ، وحادثاً آخر ص تحرك من النقطة الزمنية ب إلى النقطة الزمنية جـ ( أنظر الشكل ٨ ـ ١ ) أن النقطة الابتدائية للحادث ص هى نفس النقطة النهائية للحادث س ، ولذلك فالحادثان متتاربان فى الزمان . ولا يمكننا دفعهما إلى هذا الموضع ـ ذلك لأنهما حدثا بهذه الكيفية .




شكل ٨ ـ ١

ويمكن الآن ملاحظة طول الزمن من النقطة أ إلى النقطة جـ على اعتبار أنه ضم لـ س و ص ، وبالطبع لا يمكن ضم الأطوال هذه بالوسيلة الفيزيائية ، ولكننا نفعل هذا بوسيلة تصورية ، ذلك لأنه عن طريق هذه الوسيلة يمكننا أن ننظر إلى هذا الموقف . ويرمز إلى العملية التصورية بالرمز " o " ، حيث أنه يسمح لنا أن نصوغ قاعدة الإضافة التالية لمقياس الطول الزمنى ز :

ز ( س o ص ) = ز ( س ) + ز ( ص )

وبكلمات أخرى ، لوحصلنا على حادثين ، بحيث يبدأ الواحد منهما من حيث ينتهى الآخر ، إذن لكان طول الحادث الكلى ، هو الاختصار الحسابى لأطوال الحادثين . وبالطبع ليس هذا فى قوة قاعدة الإضافة الخاصة بالأطوال الفراغية ، لأننا لا نستطيع أن نطبقها إلا على حوادث تحدث متقاربة فى الزمان ، وليس على أية حوادث كيفما اتفق ، وأخيراً ، بعد أن طورنا القاعدة الثالثة لنسق قياس الزمن ، سيكون فى مقدورنا أن نقيس الأطوال المتجاورة لحوادث غير متقاربة . وعلينا الآن أن نبحث فقط عن عملية ضم تزودنا بأساس لقاعدة الإضافة . وهذه العملية نجدها فى حدوث حوادث متقاربة فى الزمان .

ولكى نكمل خطتنا ، فإننا نحتاج إلى قاعدتين إضافيتين : قاعدة المساواة ، وقاعدة أخرى تعرف لنا الوحدة . وكل من هاتين القاعدتين يقومان على نموذج ما من عملية دورية : تأرجح البندول ، دوران الأرض ، وهكذا . إذ أن أية ساعة ما هى إلا آلة تعمل طبقاً لعملية دورية ، وهناك بعض الساعات التى تعمل ببندول ، وأخرى تعمل بميزان الساعة ( الرقاص ) . كما أن مزولة الشمس ( الساعة الشمسية ) تقيس الزمن بواسطة الحركة الدورية للشمس عبر السماء . ولقد وضع العلماء منذ آلاف السنين ، وحداتهم للزمن على أساس طول اليوم ، وتقوم هذه الوحدات على الدوران الدورى للأرض . ولأن معدل دوران الأرض يتغير بشكل طفيف ، توصل العلماء فى عام ١٩٥٦ إلى اتفاق عالمى لحساب وحدات الزمن على أساس حركة الأرض حول الشمس فى عام واحد معين . وعرفت الثانية طبقاً لذلك بأنها ١/٣١ و ٥٥٦ و ٩٧٤٧٠٩٢٥ من العام ١٩٠٠ . وفى عام ١٩٦٤ تخلوا عن هذا النظام ، ووجدوا أن النظام الأكثر إحكاماً ، والذى يمكن الحصول عليه ، هو حساب الثانية على أساس معدل الاهتزاز الدورى للسيزيوم الذرى (١) . إن هذا المفهوم للدورية pertiodicity ضرورى جداً لتعريف وحدات الزمن ، ولا بد أن يكون مفهوماً بشكل كامل ، قبل أن نضع فى اعتبارنا كيف يمكن لنا أن نؤسس قاعدة التساوى وقاعدة الوحدة عليها .

وينبغى أن نميز أولاً ، وبوضوح بين معنيين " للدورية " ، أحدهما يدل الحد الأدنى والآخر

الحد الأقصى . بالمعنى الضعيف ، العملية تكون دورية ببساطة ، لو أنها تحدث المرة تلو الأخرى . مثل نبضات القلب ، وتأرجح البندول . ولكن بالمعنى الضعيف أيضاً خروج السيد سميث من منزله ، فهو يحدث مراراً وتكراراً ، بل مئات المرات طوال حياة السيد سميث . ويتضح أن الدورى بمعناه الضعيف إنما هو لكونه متكرراً . وفى بعض الأحيان يعنى الدورى أن هناك دائرة كلية لأشكال مختلفة تتكرر بنفس الانتظام الدائرى . إذ أن البندول يتأرجح على سبيل المثال ، من أخفض نقطة له إلى أعلاها على اليمين ، ثم يعود مرة أخرى إلى أخفض النقطة ذاتها مرتفعاً إلى أعلاها على اليسار ، ثم يعود مرة أخرى إلى أخفض النقطة ذاتها ، وهكذا . إذن تكرار حركة البندول تتم فى دائرة كاملة ، وليس نتيجة لحادثة واحدة ، وإنما نتيجة عدة حوادث . ومع ذلك ، لا يكون هذا ضرورياً لكى نسمى عملية ما أنها دورية . إذ يكفى أن مظهراً واحداً من العملية يستمر فى التكرار ، وحينئذ تكون هذه العملية ، دورية بالمعنى الضعيف .

وفى أحيان كثيرة ، عندما يقول شخص ما أن العملية دورية ، فهو يعنى بها أنها أكثر قوة ، وذلك لأنها بالإضافة إلى كونها دورية بشكل ضعيف ، فمن الصحيح أيضاً أن الفواصل بين الحوادث المتعاقبة ، لشكل معين تكون متساوية . وفيما يختص برحيل السيد سميث من منزلــه ، لم يتحقق هذا الشرط بوضوح . إذ ربما ظل فى منزله عدة ساعات ، فى بعض الأيام ، وفى أيام أخرى ، ربما يغادر المنزل عدة مرات خلال ساعة واحدة . وعلى العكس من ذلك ، تعتبر حركات تأرجح البندول فى ساعة دقيقة الصنع ، دورية بالمعنى القوى . إذن هناك اختلاف كبير وواضح بين نموذجى الدورية .

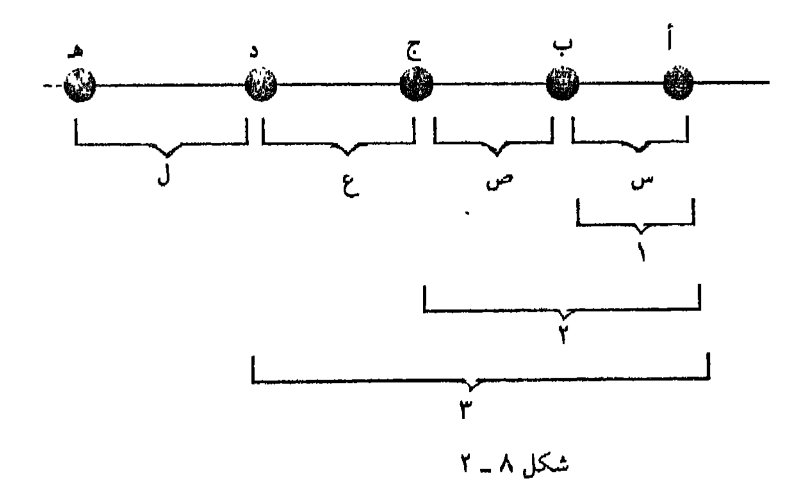
فأى نموذج للدورية ينبغى علينا أن نأخذ به كقاعدة لقياس الزمن ؟ لا شك أننا نميل إلى الإجابة بأننا ينبغى أن نختار عملية يكون فيها الدورى بالمعنى القوى . إذ لا يمكننا أن نؤسس مقياساً للزمن على مغادرة السيد سميث لمنزله ، لأن هذا غير منتظم على الإطلاق . كما أننا لا يمكننا أن نؤسسه على النبض ، لأنه على الرغم من أن النبض أكثر ارتباطاً بالدورية من رحيل السيد سميث ، إلا أنه يظل غير منتظم بشكل كاف . فلو كان شخص ما يجرى أو أصابته حمى عالية لكان نبضه أسرع من الطبيعى . إذن ما نحتاجه هو عملية دورية بأقوى معنى ممكن .

ولكن هناك شيئاً ما خطأ فى هذه المسألة . وهو أننا لانستطيع أن نعرف أن العملية دورية بالمعنى القوى ، دون أن يكون لدينا بالفعل طريقة أو منهج لتحديد فواصل متساوية للزمان !

وهذه الطريقة شبيهة تماماً بما نحاول أن نؤسسه بقواعدنا . إذن كيف يمكننا التخلص من هذا الدور ؟ لا يمكننا أن نتخلص منه إلا بالاستغناء تماماً عن متطلب الدورية بالمعنى القوى . ونحن مضطرون إلى هذا الاستبعاد ، لأننا لم نتوصل بعد إلى قاعدة للتعرف على الدورية بالمعنى القوى . وهذا الموقف يشبه تماماً موقف الفيزيائى الساذج الذى يقترب من مشكلة قياس الزمن دون أن تكون لديه حتى ميزة التصورات قبل العملية لفواصل الزمن المتساوية . وبدون أية قاعدة مهما كانت ، نراه يبحث عن عملية دورية تكون خاضعة للملاحظة فى الطبيعة . هذه الطبيعة التى يعول عليها فى إيجاد مثل هذه القاعدة . ولأنه يفتقر إلى وسيلة يقيس بها فواصل الزمن ، نجد أنه ليس لديه وسيلة لاكتشاف ما إذا كانت هذه العملية المعينة دورية بالمعنى القوى أم لا .

والحقيقة أن ما ينبغى علينا عمله فى المحل الأول ، هو أن نتوصل إلى عملية دورية بالمعنى الضعيف ( وربما تكون هذه العملية بالمعنى القوى ، ويمكن ذلك شيئاً لا يمكننا التعرف عليه بعد ) . وعندئذ نستخدم هذه العملية باعتبارها إجرا ءلضم فاصلين متتاليين من الزمن ، بمعنى أن الواحد منهما يبدأ ، عندما ينتهى الآخر تماماً ، ثم نثبت بعد ذلك ، طبقاً لقاعدة الإضافة ، أن طول الفاصل الكلى إنما هو اختصار رياضى لأطوال فاصلين مركبين . ومن ثم نستطيع أن نطبق هذه القاعدة على أية عملية دورية مختارة .

ولكى نستكمل رسمنا التخطيطى ، علينا أن نتوصل إلى قاعدة للمساواة وأخرى للوحدة . ودوام أى واحدة من فترات العملية المختارة ، يمكن استخدامه باعتباره وحدتنا للزمن . وهذه




شكل ٨ ـ ٢

الفترات مرسومة فى الشكل ٨ ـ ٢ ، وهى تمثل الأطوال س ، ص ، ع ، ل ... بين نقاط الزمن أ ، ب ، جـ ، د ، هـ ... بحيث يكون لكل جزء من هذه الأجزاء ، طول لوحدة واحدة .

ويمكن لشخص ما أن يعترض : " ولكن الفترة ص أطول كثيراً من الفترة س " ونرد عليه بقولنا : " أننا لا نعرف ما تعنيه بكلمة " أطول " . إذ أننا نحاول الآن وضع قواعد لمقياس الزمن ، وبعد ذلك سوف نتمكن من إعطاء معنى لكلمة " أطول " .

والآن ، نجحنا فى تعيين وحدتنا ( وهى ببساطة طول كل فترة من العملية المختارة ) غير أن قاعدة الإضافة تمدنا بأساس لقياس أطوال الزمن . وتخبرنا هذه القاعدة بأن الفاصل الزمنى من النقطة أ إلى النقطة جـ هو ٢ ، ومن النقطة أ إلى النقطة د هو ٣ ، وهكذا . ونستطيع الآن قياس أى فاصل للزمن ، حتى على الرغم من أننا أسسنا إجراءنا على عملية دورية ضعيفة . وذلك بأن نحسب ببساطة عدد المرات التى تحدث فيها وحدة الفترة ، فى ذات الوقت الذى يحدث فيه الحادث الذى نرغب فى قياسه . وسوف يكون هذا العدد هو طول الحادث ، أما قاعدة المساواة فهى واضحة . إنها تذكر أن الفاصلين الزمنيين ( اللذين ربما يكونان منفصلين بفترات زمنية واسعة ) يتساويان إذا كان كل منهما يحتوى على نفس عدد الفترات الابتدائية للعمليـــة الدورية . وهذا يكمل القاعدة الثالثة فى الخطة ، لأننا نكون بذلك قد حصلنا على قاعدة للمساواة ، وقاعدة للإضافة ، وقاعدة للوحدة . وعلى أساس هذه الخطة نتوصل إلى منهج لقياس الزمن .

وربما تكون هذه اعتراضات . هل يمكن حقاً لمثل هذه الخطة أن تكون أساساً لأية عملية دورية ضعيفة ؟ أى هل يمكن مثلاً أن تكون أساساً لرحيل السيد سميث من منزله ؟ .

الرد المدهش على ذلك هو ، نعم . أقول هذا على الرغم من أن هناك قوانين فى الفيزياء ـ وسوف أتناول هذا بالشرح بعد لحظة ـ أبسط كثيراً ، بحيث تمكننا من أن نختار عمليات أخرى معينة . غير أن النقطة الهامة التى ينبغى علينا أن نفهمها هنـــا ، هى أننا إذا حصلنا ، ولو لمرة واحدة ، على خطة تعد أساساً لقياس الزمن ـ حتى على الرغم من أنها قد تقوم على عملية غير منتظمة ، كما هو الحال فى رحيل السيد سميث من منزله ـ فإننا بذلك نكون قد اكتسبنا وسائل لتحديد ما إذا كانت هذه العملية الدورية مناسبة لعملية أخرى أم لا .

افترض أننا تبنينا العملية الدورية م . من أجل قاعدة مقياس الزمن ونريد الآن مقارنة م

بعملية دورية أخرى ، ولتكن ن ، حتى نرى ما إذا كانت م مكافئة أم لا . افترض مثلاً أن م هى تأرجح لبندول قصير ما ، وأننا نرغب فى مقارنتها بـ ن التى هى تأرجح لبندول أطول . من وجهة النظر العملية لا يمكن أن تكون فترات البندولين متساوية . إذن كيف نقارن بين الإثنين ؟ إننا فى الحقيقة نقارن بينهما عن طريق حساب تأرجحات البندولين أثناء فاصل زمنى أطول . وقد نكتشف أن عشر تأرجحات من البندول القصير يوافق ست تأرجحات من الطويل . ويحدث هذا فى كل مرة نعيد فيها الاختبار . وحيث أننا لم نتعامل بعد مع أجزاء من الفترات ، لذلك ينبغى أن تكون مقارنتنا فى حدود الأعداد الصحيحة من التأرجحات . ومع ذلك قد نلاحظ أن التزامن فيها ليس دقيقاً . إذ أن بعد عشر تأرجحات للبندول القصير ، يكون الطويل قد بدأ فى تأرجحه السابع . وفى هذه الحالة علينا أن نكرر المقارنة بأن تأخذ فاصلا زمنيا أطول ، مثل مائة فترة للبندول القصير . ونكتشف أن زمن الاختبار كله يتكرر ، وأنه أثناء هذا الفاصل ، كان للبندول الطويل اثنتان وستون فترة . وبهذه الطريقة نتمكن من ضبط المقارنة إلى أقصى درجة نتمناها . وإذا وجدنا أن عددا معينا من فترات العملية م متكافئا دائما مع عدد معين من فترات العملية ن ، نقول أن الفترتين الدوريتين متكافئتان .

وهذه حقيقة من حقائق الطبيعة ، أن تكون هناك فئة واسعة جدا من العمليات الدورية التى تتكافأ كل منها مع الأخرى بهذا المعنى . ولايمكن معرفتها قبليا . فهى تكتشف عن طريق ملاحظة العالم ، ولايمكننا القول أن هذه العمليات المتكافئة دورية بشكل قوى ، ولكن يمكننا أن نقارن أى اثنتين منها ، ونتبين أنهما متكافئتان . وتنتمى كل البندولات المتأرجحة إلى هذه الفئة ، وكذلك حركات موازين الساعة فى المنبهات وساعات اليد ، والحركة الظاهرية للشمس عبر السماء ، وهكذا . إذن نجد فى الطبيعة فئة ضخمة من هذه العمليات التى إذا قارنا أى عمليتين منها بالطريقة التى شرحناها فى الفقرة السابقة ، لبرهنا على أنهما متكافئتان . وعلى قدر علمنا توجد فئة واسعة واحدة فقط من هذا النوع .

فماذا يحدث لو قررنا أن نقيم مقياسنا للزمن على عملية دورية لا تنتمى إلى هذه الفئة الواسعة من العمليات المتكافئة ، كنبضات القلب مثلا ؟ لابد أن تكون النتيجة غريبة بعض الشئ . ولكننا نريد أن نشدد على أن اختيار نبضات القلب لمقياس الزمن لن يؤدى إلى أى تناقض منطقى . إذ ليس هناك معنى أن نزعم أن مقياس الزمن على مثل هذا الأساس ، إنما هو " باطل " .

تخيل مثلا أننا نعيش فى عصر مبكر جدا من تطور مفاهيم القياس ، بالطبع لن تكون لدينا

أداة لقياس الزمن ، مثل ساعة اليد ، وبالتالى لن تكون لدينا وسيلة لتحديد كيفية اختلاف نبضات القلب تحت ظروف فسيولوجية مختلفة . اننا نبحث ، منذ الوهلة الأولى عن أحكام عملية لتطور مقياس الزمن ، ونقرر استخدام نبضات قلبى كأساس للقياس .

وحالما نقارن نبضات قلبى بعمليات دورية أخرى فى الطبيعة ، نجد أن كل أنواع العمليات التى اعتقدنا أنها مضطردة ، أصبحت خلاف ذلك . ونكتشف على سبيل المثال أننى عندما أكون فى حالة جيدة ، فإن الشمس تعبر السماء خلال عدد معين من نبضات القلب فى زمن معين ، وأننى عندما أصاب بحمى فى أيام أخرى ، فإن عبور الشمس يستغرق عددا أكبر بكثير . وعلى الرغم من أن هذا يبدو غريبا ، إلا أنه ليس ثمة تناقض منطقى فى وصفنا للعالم الكامل entire world على هذا الاساس . إذ لايمكننا أن نقول أن البندول اختيار " صادق " ، وأن نبضات قلبى اختيار " كاذب " ، كأساس لوحدة الزمن . لأن الصدق أو الكذب لايدخلان هنا ، نظرا لعدم وجود تناقض منطقى فى أى حالة من هاتين الحالتين ، ولكنه فقط اختيار بين وصف بسيط للعالم ، ووصف معقد (١) .

فإذا أقمنا الزمن على نبضى ، نقول أن كل أنواع العمليات الدورية فى الطبيعة لها فواصل زمنية تعتمد على ما أفعله أو ما أشعر به . فإذا عدوت فترة من الوقت ثم توقفت عن العدو ، وقمت بعمل قياس لهاتين العمليتين الطبيعيتين بوسائل نبضى ، لوجدت أنه فى لحظة عدوى ، وبعدها بوقت قصير ، فإن الحوادث فى العالم تبطئ . وبعدها بثوان قليلة تعود إلى طبيعتها الأولى مرة أخرى . وأرجو أن تتذكر أننا نفترض أنفسنا نحيا فى عصر لم نتعرف فيه بعد على أية معرفة بقوانين الطبيعة . فليس لدينا ثمة مراجع فى الفيزياء تخبرنا أن هذه العملية أو تلك مضطردة . وأنه فى نظامنا الابتدائى للفيزياء ، فإن دوران الأرض حول محورها ، وتأرجح البندولات وهكذا ، تعد أشياء غير منتظمة بدقة ، إذ أن لها سرعة معينة عندما أكون فى حالة جيدة ، وأخرى عندما أكون مصابا بحمى .

وهكذا فإن اختيارنا الأصلى الذى نعمل طبقا له هنا ، ليس اختيارا بين اجراء قياس صحيح وآخر خاطئ ، ولكنه اختيار قائم على البساطة . فإذا اخترنا البندول كأساس للزمن ، فإن النظام المؤدى إلى قوانين فيزيائية سوف يكون أبسط كثيرا ، مما لو اخترنا نبضات قلبى . ولكن على الرغم من أن اختيارنا لنبضات القلب معقد إلى حد ما ، إلا أنه أرحم من اختيارنا لرحيل السيد سميث من منزله . هذا إذا لم يكن السيد سميث شبيها بعمانويل كانط ، الذى قيل عنه أنه كان

يخرج من منزله فى نفس الوقت تماما من كل صباح حتى أن الناس فى المدينة كانوا يضبطون ساعاتهم عند ظهوره فى الشارع (٢) . ولكن من غير الطبيعى أن نأخذ تحركات شخص ما ، حياته معرضة للفناء ، قاعدة مناسبة لقياس الزمن .

وأعنى بكلمة " مناسبة " طبعا ، أنها ملائمة بالمعنى الذى يؤدى إلى قوانين بسيطة . فعندما نقيم مقياسنا للزمن على تأرجح البندول ، نجد أن العالم الكلى يسلك بطريقة منتظمة إلى حد بعيد ، ويمكن وصمه بقوانين غاية فى البساطة . وربما لايجد القارئ هذه القوانين البسيطة عند دراسته للفيزياء ، ولكنها بسيطة بالمعنى النسبى للكلمة ، لأنها يمكن أن تكون أكثر تعقيدا إذا تبنينا نبضات القلب كوحدة للزمن . ومن ثم نجد أن الفيزيائيين يعربون دائما عن دهشتهم من بساطة القوانين الحديثة . فعندما اكتشف اينشتين مبدأه العام فى النسبية ، اعتورته الدهشة من حقيقة أن مثل هذا المبدأ البسيط المتعلق بالنسبية ، يتحكم فى جميع الظواهـر التى ينطبق عليها . فإذا أقمنا نظامنا لقياس الزمن على عملية لاتنتمى إلى فئة واسعة جدا من العمليات المتكافئة بالتبادل ، فإن هذه البساطة سوف تختفى .

وعلى العكس من ذلك ، ينتمى نبض قلبى إلى فئة ضيقة جدا من العمليات المتكافئة إذ ربما يتدخل أعضاء جدد فى الحوادث المحتملة التى قد تؤثر على جسمى ، ذلك الجسم الذى يرتبط فسيولوجيا بنبضات القلب . فعلى الرغم من أن النبض فى رسغى الأيسر مكافئ للنبض فى رسغى الأيمن ، إلا أنه بالإضافة إلى الحوادث التى قد تفعل فعلها فى قلبى ، فتغير من سرعة نبضه ، فانه من الصعب أن نجد عملية أخرى ، فى مكان ما فى الطبيعة ، تكون متكافئة مع نبضى . وهكذا ، نجد هنا فئة ضيقة جدا من العمليات المتكافئة ، بالمقارنة بواحدة من الفئات الشاملة جدا ، والتى تتضمن حركات الكواكب ، وتأرجح البندولات ، وهكذا . ولذلك يستحسن أن نختار عملية من هذه الفئة الواسعة ، ونتخذها أساسا لقياس الزمن .

ولايهم كثيرا أى واحدة من عمليات هذه الفئة نتخذ ، لأننا لسنا مشغولين بعد بقياس شديد الاحكام . فما علينا إلا أن نختار عملية واحدة ، وأن نذكر أن العملية المختارة ، دورية بالمعنى القوى ، وهذه العملية بالطبع ، إنما هى مجرد موضوع للتعريف فحسب ، ولكن إذا كانت العمليات الأخرى المتكافئة معها دورية بشكل قوى ، وبطريقة غير متبذلة ، لن تكون موضوعا للتعريف فحسب . لأننا نجرى اختبارات امبيريقية ، وعن طريق الملاحظة نتبين أنها دورية بالمعنى القوى ، فهى تظهر اطرادا كبيرا فى فواصل الزمن . ونتيجة لذلك ، نصبح قادرين على

وصف عمليات الطبيعة بطريقة بسيطة نسبيا . وهذه النقطة شديدة الاهمية ، لدرجة أننى أؤكد عليها مرارا وتكرارا . إذ أن اختيارنا لعملية كأساس لقياس الزمن ليست موضوعا للصواب والخطأ . فأى اختيار ممكن منطقيا وأى اختيار سوف يؤدى إلى مجموعة متسقة من القوانين الطبيعية ، ولكن إذا أقمنا مقياسنا للزمن على عمليات بالمعنى القوى ، كتأرجح بندول ، نجد أنها تؤدى إلى فيزياء أكثر بساطة ، مما لو استخدمنا عمليات أخرى معينة . لاشك أن حسنا الفسيولوجى للزمن ، وشعورنا الحدسى للانتظام ، قد دخل تاريخيا فى اختياراتنا المبكرة للعمليات التى نتخذها أساسا لقياس الزمن ، فالشمس لأنها تشرق وتغرب بانتظام ، أصبحت المزاول الشمسية وسيلة مناسبة لقياس الزمن . فهى مناسبة أكثر من حركات السحب مثلا . وبالمثل ، وجدت الثقافات البدائية أن تقيم الساعات على زمن سرعة الرياح ، أو مجرى المياه ، أو عمليات أخـــرى كانت تتوافق بشكل أو بآخر مع حركة الشمس . ولكن تبقى النقطة الأساسية ، ألا وهى أن الاختيار يتم فى حدود التكافؤ والبساطة .

***

### هوامش

(١) وهذا الأمر شبيه بتفسير كل من بطليموس وكوبرنيق للظواهر الفلكية ، إذ أن التنبؤ بالحوادث الفلكية التى قام بها بطليموس لم تكن تختلف كثيرا عن الحوادث الفلكية التى تنبأ بها كوبرنيق . فحركة الاجسام السماوية طبقا لرسم بطليموس لاتقل فى دقتها عما وضعه كوبرنيق . ولكن النسق الكوبرنيقى كان أكثر بساطة وانسجاما من النسق البطليموسى . ( المترجم ) .

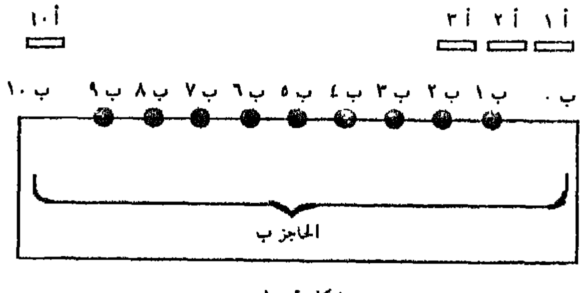
(٢) اشتهر عن كانط ( ١٧٢٤ ـ ١٨٠٤ ) الفيلسوف الالمانى المعروف ، أن حياته كانت منتظمة انتظاما آليا كساعة دقيقة ، محكمة الصنع . فهو يستيقظ فى الصباح ، ثم يشرب قدحا من القهوة ، ثم يكتب ، ثم يقرأ محاضراته الجامعية ، ثم يتناول وجبة من الطعام ، ثم يتنزه ، كل هذا فى موعده المحدد الدقيق . وكان جيرانه فى مدينة كونجسبرج يعرفون أن الساعة قد شارفت منتصف الرابعة حينما كان كانط يغادر باب منزله . ( المترجم ) .

# ☐ الفصل التاسع ☐

# الطـــــول

دعنا نتحول الآن ، من مفهوم الزمان إلى مفهوم أساسى آخر فى الفيزياء ، ألا وهو الطول ، وأن نتفحصه باقتراب أكثر مما فعلنا من قبل . ولعلك نتذكر أننا قلنا فى الفصل السابع إن الطول ، مقدار ممتد ، ويمكن قياسه عن طريق خطط القواعد الثلاث . القاعدة الأولى تعرّف المساواة على هذا النحو : نضع علامة على جزء من حافة مستقيمة ، بحيث تكون مساوية لطول جزء آخر نضعه على حافة أخرى مستقيمة . فإذا تقابل طرفا الجزءين ، إذن لكان كل منهما متطابقا مع الآخر فى نفس اللحظة . وتعرّف القاعدة الثانية الاضافة على هذا النحو : إذا قمنا بضم الحافتين على خط مستقيم واحد ، إذن لكان طولهما الكلى مساويا لمجموع أطوالهما المتفرقة . وتعرّف القاعدة الثالثة الوحدة على هذا النحو : نختار قضيبا له حافة مستقيمة ونضع علامتين على هذه الحافة ، ثم نختار الجزء الواقع بين تلك العلامتين ونتخذه وحدتنا للطول .

ونستطيع الآن ، على أساس هذه القواعد الثلاث ، أن نطبق الاجراء المعتاد للقياس . افترض أننا نرغب فى أن نقيس طول حافة طويلة ب ، ولتكن الحافة لأحد الحواجز . ولدينا قضيب قياس عند نهاية طرفيه س و ص ، ورسمنا العلامة أ التى تمثل وحدتنا للطول . نضع القضيب بطول ب فى الموضع ب ١ (انظر الشكل ٩ ـ ١) بحيث تتطابق س مع ب . فى بداية طرف الحاجز ب ، ثم نضع العلامة ب١ بحيث تتطابق مع ص . وعندئذ نحرك القضيب رأ إلى




شكل ٩ ـ ١

الموضع أ٢ ، ونضع على الحاجز ب العلامة ب٢ . وهكذا حتى نصل إلى نهاية طرف الحاجز ب .

افترض أن الموضع العاشر للقضيب الذى هو أ ١٠ ، يتطابق طرفه ص تقريبا مع نهاية طرف ب ١٠ الذى هو على نهاية الحاجز ب . ومن ب١ ، ب٢ ، ... ب ١٠ التى هى أجزاء ب . نحصل عن طريق القاعدة الثالثة على :

ل (أ) = ل ( أ ١ ) = ل ( أ ٢ ) = ... = ل ( أ ١٠ ) = ١ .

وعن طريق القاعدة الأولى ، قاعدة المساواة ، نحصل على :

ل ( ب ١ ) = ١ ، ل ( ب ٢ ) = ١ ، ... ل ( ب ١٠ ) = ١

وعن طريق القاعدة الثانية ، قاعدة الاضافة ، نحصل على :

ل ( ب ١ ٥ ب ٢ ) = ٢ ، ل ( ب١ ٥ ب٢ ٥ ب٣ ) = ٣ ...

ولذلك فإن :

ل (ب) = ل ( ب ١ ٥ ب ٢ ٥ ... ٥ ب ١٠ ) = ١٠

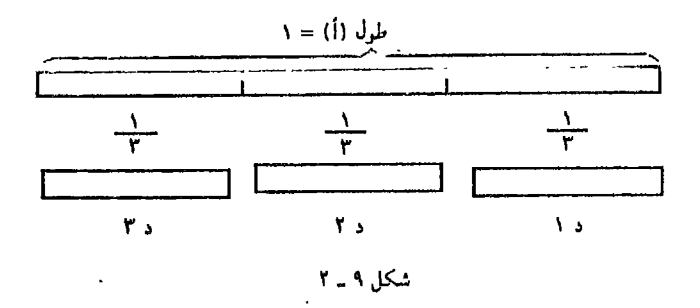
ويعد هذا الاجراء ، اجراء أساسيا لقياس الطول ، وينطبق فقط على الأعداد الصحيحة باعتبارها قيما للطول الخاضع للقياس . وتجرى التصفية النهائية عن طريق تقسيم وحدة الطول إلى الأجزاء المتساوية ن . ( تقسم البوصة تقليديا بطريقة مضاعفة : أولا إلى جزءين ، ثم إلى أربعة ، فثمانية ، وهكذا . ويقسم المتر عشريا : أولا إلى عشرة أجزاء ، ثم إلى مائة ، وهكذا .) وبهذه الطريقة نستطيع أن نرسم ، عن طريق المحاولة والخطأ قضيب قياس اضافى ، طول الجزء فيه عليه العلامة د ، بحيث يمكن وضع د إلى ن من المواضع المجاورة ، د١ ، د٢ ... د ن ، وذلك بطول حافة الوحدة أ ( انظر الشكل ٩ ـ ٢ ) . ومن ثم يمكننا القول أن :

ن × ل ( د ) = ل ( أ ) = ١

ولذلك فإن :

ل ( د ) = ١/ ن

وعن طريق هذه القطع الجزئيةالتى عليها العلامة أ ، نستطيع أن نقيس الآن طول أى حافة بدقة أكبر . وعندما نعيد قياس طول الحاجز ب ، فى المثال السابق ، لن نجده ١٠ ، ولكننا سوف نجده ٢ر١٠ . وبهذه الطريقة تدخل الكسور فى المقاييس وتجعلها أكثر إحكاما . كما يمكن أن تكون القيمة الخاضعة للقياس أى عدد جذرى موجب .

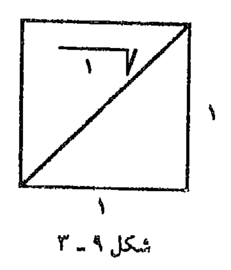



شكل ٩ ـ ٢

ومن الأهمية بمكان أن نفهم أنه عن طريق عمل هذه التصفيات فى القياس ، نستطيع أن ندخل كسورا أقل فأقل ، لكننا لانستطيع أن نصل أبدا إلى أعداد غير جذرية . ومن الناحية الأخرى ، يلاحظ عادة أن فئة القيم الممكنة للمقدار فى الفيزياء تحتوى على كل الأعداد الحقيقية real numbers ( أو كل الأعداد الحقيقية لفترة معينة ) وهى تلك التى لاتشتمل على أعداد غير جذرية ، مثلها تماما مثل الاعداد الجذرية . ومع ذلك ، فإن هذه الأعداد غير الجذرية تدخل فى مرحلة متأخرة أكثر فى ذلك القياس . ويمكن للقياس المباشر أن يعطى قيما ، معبرا عنها فقط باعتبارها أعدادا جذرية . ولكن عندما نصوغ قوانين ، ونجرى حسابات بمساعدة هذه القوانين ، فاننا ندخل عندئذ الأعداد غير الجذرية فى الصورة ، فهى تدخل فى سياق نظرى ، وليس فى سياق القياس المباشر .

ولكى نوضح هذا أكثر ، افترض مبرهنة فيثاغورث التى تذكر أن المربع المنشأ على وتر المثلث القائم الزاوية ، يساوى مجموع المربعين المنشأين على الضلعين الآخرين . إنها مبرهنة فى الهندسة الرياضية ، ولكن عندما نطبقها على موضوعات فيزيائية جزئية ، تصبح قانونا للفيزياء أيضا . افترض أننا نشرنا من لوح خشبى ، مربعا ، الضلع فيه يمثل وحدة الطول . تخبرنا مبرهنة فيثاغورث أن طول قطر المربع ( أنظر الشكل ٩ ـ ٣ ) يساوى الجذر التربيعى للعدد ، والجذر التربيعى للعدد ، إنما هو عدد غير جذرى . ولايمكن قياسه بدقة عن طريق مسطرة ، اعتمادا على وحدتنا للقياس ، بصرف النظر عن كيفية وضع علامة للتقسيمات الكسرية الفرعية الصغيرة . ومع ذلك ، عندما نحسب طول القطر مستخدمين المبرهنة الفيثاغورية ، نحصل بطريقة غير مباشرة ، على عدد غير جذرى . وبالمثل إذا كنا نقيس قطر قرص خشبى دائرى ، ووجدنا أنه يساوى ١ ، فاننا نحسب طول القرص على أنه عدد غير جذرى .

ولأن الاعداد غير الجذرية تكون دائما نتيجة للحسابات ، ولاتكون أبدا نتيجة للقياس

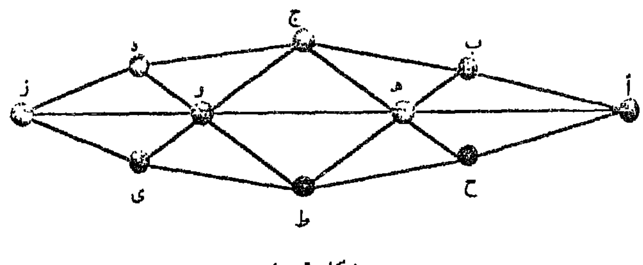


شكل ٩ ـ ٣

المباشر ، ألا يمكن فى هذه الحالة أن نتخلى عن كل الأعداد غير الجذرية فى الفيزياء ، ونعمل فقط الاعداد الجذرية ؟ إن هذا ممكن بالتأكيد ، ولكنه سوف يؤدى إلى تغير ثورى ، وليس ببعيد مثلا ، أن نكون قادرين على استخدام المعادلات التفاضلية ، لأن مثل هذه المعادلات تتطلب تواصلا للأعداد الحقيقية . ولم يتوافر لدى الفيزيائيين الدواعى الكافية لاجراء مثـل هـذا التغيير . ومع ذلك ، هناك اتجاه قوى فى فيزياء الكم نحو البدء فى استخدام مايسمى بالانفصال discreteness إذ أن الشحنة الكهربية مثلا ، تقاس فى كميات فقط ، وتكون نتيجة لحواصل ضرب الشحنة الكهربية الصغرى minimum . فإذا أخذنا هذه الشحنة الصغرى بوصفها وحدة unit ، فإن جميع قيم الشحنات الكهربية تصبح أعدادا صحيحة . غير أن ميكانيكا الكم لاتعد منفصلة بشكل كامل بعد ، على الرغم من أن الكثير منها منفصل حتى أن بعض الفيزيائيين بدأوا يفكرون فى امكان جعل جميع المقادير الفيزيائية ، بما فى ذلك المكان والزمان ، مقادير منفصلة . ولكن هذا لايعدو أن يكون مجرد تفكير وحسب ، على الرغم من أنه تفكير غاية فى الاثارة .

إذن ما هو نوع القوانين الممكنة فى مثل هذه الفيزياء ؟ ربما تكون القيمة الصغرى لكل مقدار ، وأن كل قيم كبرى يتم التعبير عنها بوصفها حواصل ضرب هذه القيمة الأساسية . ولقد أقترح أن تسمى القيمة الصغرى للطول " هو دون " " a hodon " وأن تسمى القيمة الصغرى للزمن " كرونون " " a chronon " ويتألف الزمن المنفصل من قفزات دقيقة لايمكن تصورها ، وهى تشبه عقرب الثوانى فى ساعة اليكترونية عندما يقفز من ثانية إلى الثانية التى تليها . ولايمكن أن يحدث أى حادث فيزيائى خلال أى فاصل بين القفزات .

وقد يتألف المكان المنفصل من نقاط من النوع المبين فى الشكل ٩ ـ ٤ . إذ توضح الخطوط المتصلة فى الرسم الهندسى النقاط المتجاورة والنقاط غير المتجاورة . ( فعلى سبيل المثال ،




شكل ٩ ـ ٤

النقطتان ب ، جـ متجاورتان ، والنقطتان ب و و غير متجاورتين ) . فى الهندسة المتصلة المعتادة ، نقول أن هناك عددا لانهائيا من النقاط بين ب ، جـ ، ولكن فى الهندسة المنفصلة ، إذا كانت الفيزياء تتبنى وجهة النظر هذه فى المكان ، إذن لقلنا أنه ليس ثمة نقاط متوسطة بين ب ، جـ . ولايمكن لأية ظاهرة فيزيائية ، أيا كانت ، أن يكون لها موضع " بين " ب ، جـ . وقد يكون هناك اليكترون مثلا فى واحدة من النقاط على الشبكة ، ولايكون فى أى مكان آخر على الرسم الهندسى . ويعرف الطول هنا بوصفه أصغر طول لطريق واصل بين نقطتين . ويمكننا أن نشترط أن تكون المسافة بين أى نقطتين تساوى ١ . ومن ثم يصبح طول الطريق أ ب ج د ز مساويا ٤ ، فى حين أن أ هـ و ز تساوى ٣ . ويمكننا أن نقول أن المسافة من أ إلى ز تساوى ٣ ، لأنها تساوى طول أقصر الطرق من أ إلى ز . ويمكن التعبير عن كل طول ، بوصفه عددا صحيحا . بيد أن نظاما فعليا من هذا القبيل لم يشيّد فى الفيزياء ، على الرغم من أن هناك العديد من المقترحات التى قدمت للمقادير الضئيلة ، حتى أن بعض الفيزيائيين قد فكر جديا فى حجم هذه المقادير الصغيرة .

وفى المستقبل ، عندما يعرف الكثير عن المكان والزمان ، والمقادير الأخرى للفيزياء ، لابد أننا سنجدها جميعا مقادير منفصلة ، وعندئذ سوف تتعامل قوانين الفيزياء مع الاعداد الصحيحة فقط . وبالطبع سوف تكون اعدادا صحيحة ذات حجم يدعو إلى الدهشة . ففى كل ملليمتر من الطول ، مثلا ، سيكون هناك بلايين من الوحدات الصغرى . إذ أن القيم المفترضة للمقدار ، سوف ترتبط كل منها بالأخرى ، بحيث نستطيع أن نتقدم عمليا ، كما لو كان لدينا متصل من أعداد حقيقية . ومن المحتمل أن يستمر الفيزيائيون عمليا فى استخدام حساب التفاضل والتكامل ، ويقوموا بصياغة قوانين بوصفها معادلات تفاضلية ، كما كان الحال من قبل . ويمكننا ، فى الغالب ، أن نقول الآن أن هناك ملامح تتشكل لفيزياء مبسطة ، وذلك عن طريق التعامل بمقاييس منفصلة ، بحيث تصبح المقاييس الأخرى أكثر تعقيدا . إذ لايمكن

لملاحظاتنا أن تقرر أبدا ، ما إذا كان ينبغى التعبير عن قيمة بوصفها عددا جذريـا أم غيـر جذرى ، ولذلك فإن المسألة هنا تصبح واحدة من الأشياء الملائمة بالكلية - هل مقياس العدد المنفصل أو المتصل ذو فائدة أكثر لصياغة قوانين فيزيائية معينة ؟

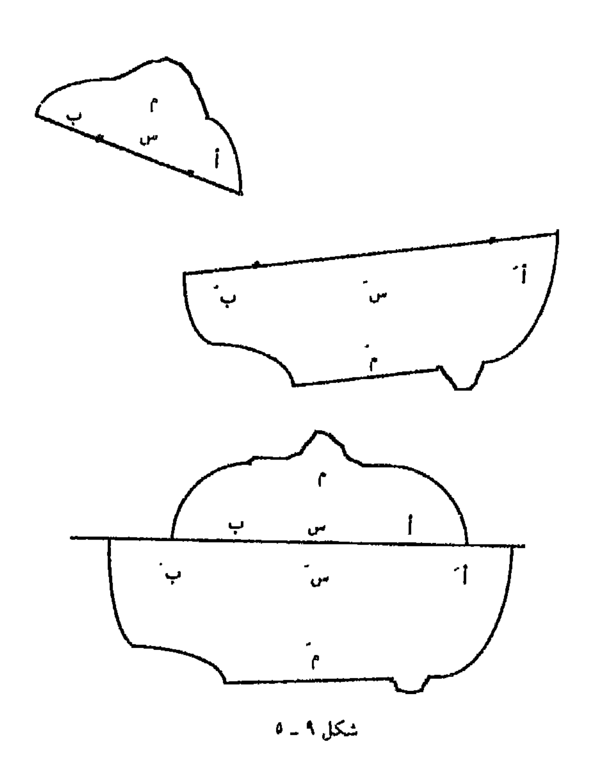
فى معرض وصفنا لكيفية قياس الأطوال ، لم نقرر بعد أحد المسائل الجديرة بالاعتبار - ألا وهى ، مانوع الجسم الذى سوف نتخذه وحدتنا لقياس القضيب ؟ بالنسبة لمتطلبات الحيـاة اليومية ، يكفى أن نتخذ قضيبا حديديا ، أو حتى خشب ، لأنه ليس من الضرورى هنا أن نقيس الأطوال بدقة متناهية . ولكن إذا كنا نبحث عن هذه الدقة ، فسوف نواجه فى الحال بصعوبة شبيهة بتلك التى واجهناها فى الدورية .

ولعلك تتذكر أننا كنا نواجه مشكلة معقدة بصدد تأسيس وحدتنا للزمن على أساس عملية دورية ذات فترات متساوية . ونحن هنا نواجه بمشكلة مماثلة لتأسيس وحدتنا للطول على أساس " جسم شديد الصلابة " . إننا نميل إلى الاعتقاد ، أننا فى حاجة إلى جسم يظل دائما بنفس الطول تماما كما كنا فى حاجة من قبل ، إلى عملية دورية لها فواصل من الزمن تظل دائما هـى نفسها . ومن الواضح أننا لسنا فى حاجة إلى تأسيس وحدتنا للطول على قضيب مطاط ، أو مصنوع من الشمع بحيث يسهل اعادة تشكيله . فإذا افترضنا أننا فى حاجة إلى قضيب شديد الصلابة ، بحيث لايتغير شكله أو حجمه ، فلابد فى البداية ، أن نقوم بتعريف " الصلابة " . وربما نعرّفها بهذه الكيفية : يكون القضيب شديد الصلابة إذا ظلت المسافة بين أى نقطتين فيه ثابتة على مدار الزمن . ولكن ما الذى نعنيه بدقة من كلمتى " تظل ثابتة " ؟ لتوضيح ذلك لابد أن ندخل مفهوم الطول . فإذا لم يكن لدينا مفهوم عن الطول ووسائل قياسه ، فما معنى قولنا أن المسافة بين نقطتين على القضيب ، تظل ، فى الحقيقة ، ثابتة ؟ وهكذا نجد أنفسنا واقعين فى مصيدة الدور ، الذى وقعنا فيه من قبل عندما كنا بصدد البحث عن طريقة لتمثيل عملية دورية بشكل قوى ، قبل أن يكون لدينا نظام متطور لقياس الزمن . ومرة أخرى ، ما السبيل إلى الهرب من هذه الدائرة الشريرة ؟

إن طريق الخلاص لهو شبيه بالطريق الذى اتبعناه للهرب من الدور فى مقياس الزمن ، الا وهو : استخدام المفهوم النسبى بدلا من المطلق . ففى امكاننا - دون الوقوع فى الدور - تعريف مفهوم " الصلابة النسبية " للجسم بالنسبة إلى جسم آخر . خذ الجسم م والجسم الآخر م١ ، ولدواعى البساطة ، نفترض أن لكل منهما حافة مستقيمة ، بحيث يمكننا أن نضع الحافتين معا

ونقارن النقاط التى على طول كل منهما . ( انظر الشكل ٩ ـ ٥ ) .

افترض أن النقطتين أ ، ب تحددان الجزء س ، وبالمثل النقطتين أ ، ب تحددان الجزء س ٓ . نقول أن الجزء س متطابق مع الجزء س ٓ ، إذا وضعنا الحافتين بجانب كل منهما الأخرى ، ووجدنا أن النقطة أ تتطابق مع النقطة أ ٓ ، والنقطة ب تتطابق مع ب ٓ . هذا هو الاجراء العملى لتقرير أن الجزء س ، س ٓ متطابقان .




شكل ٩ ـ ٥

فإذا أجرينا الاختبار عدة مرات ، ووجدنا تطابق النقطتين على الجزء س مع النقطتين على الجزء س ٓ ، نستنتج من ذلك ، أننا إذا أعدنا التجربة فى أى زمن مستقبلى ، فمن المحتمل أن تكون النتيجة واحدة . وبالإضافة إلى ذلك ، إذا وجدنا تطابق العلامات فى م مع نظيرها فى م ٓ فى كل زمن أجرينا فيه الاختبار ، قلنا أن م ، م ٓ شديدتا الصلابة .

ومن الضرورى أن نفطن إلى أننا قد تجنبنا الدور هنا . لأننا لا نتحدث عن صلابة كلية لـ م ،

كما أننا لانزعم أن م تظل دائما ثابتة فى الطول . ولكن كل ماأردنا قوله هو أن للجسمين صلابة بالنسبة إلى كل منهما الآخر . فإذا اخترنا م بوصفها مقياسا للقضيب ، ووجدنا أن العلامات المحددة على م١ تظل ثابتة فى الطول ، ثم اخترنا م١ بوصفها مقياسا للقضيب ووجدنا أن العلامات المحددة على م تظل ثابتة ، فإن ما نحصل عليه هنا ، هو مفهوم الصلابة النسبية ، أى صلابة الجسم بالنسبة إلى آخر .

وعندما نفحص الأجسام المختلفة فى العالم ، نجد أن العديد منها ليست له صلابة بالنسبة إلى الأخرى . افترض على سبيل المثال ، يداى . أننى أضمهما معا ، ولذلك أجد أن أزواجا معينة من النقاط على أطراف أصابعى تتطابق ، وأضمهما مرة أخرى ، فأجد أن مواضع أصابعى تتغير ، فلا تتطابق نفس أزواج النقاط ، ولذلك فاننى لااستطيع أن أزعم أن يدى قد ظلتا صلبتين بالنسبة لكل منهما الأخرى . ويصدق نفس الشئ إذا قارنا بين جسمين مصنوعين من شمع ، أو جسم من حديد وجسم آخر من مطاط لين . ولكن مثلما وجدنا أن العالم يحتوى على فئة واسعة جدا من العمليات المتكافئة فى دوريتها ، فقد يواتينا الحظ فى ظرف عرضى آخر للطبيعة ، فنصادف ، بشكل امبيريقى ، وجود فئة واحدة واسعة جدا من الأجسام التى تكون صلبة بشكل تقريبى كل منها بالنسبة إلى الأخرى . وليكن الجسمان من المعدن أو الحديد أو النحاس .. وهكذا ، أو حتى جسمان من الحجارة أو الخشب ، ولكن فى حالة الخشب لابد أن يكون قد جف جيدا ، وزال عنه الاخضرار . إذن هناك الكثير جدا من الجوامد التى يمكن أن نصنع منها أجساما صلبة ، ونقارن احداها بأخرى . ونفتقر إلى هذه الصلابة بالطبع إذا قمنا بثنى الجسم أو جعلناه يتمدد بالتسخين ، وهكذا الأجسام تسلك بطريقة منتظمة إلى أقصى حد .

ولعلك تتذكر ، أننا فى معرض مناقشتنا للدورية ، رأينا أنه ليس ثمة ضرورة منطقية تلزمنا أن نؤسس مقياسنا للزمن على واحدة من العمليات الدورية التى تنتمى إلى فئة واسعة من العمليات المتكافئة . وإنما وقع اختيارنا على هذه العملية فقط دون غيرها لأن الاختبار قد أدى إلى بساطة أكثر فى قوانيننا الطبيعية . وهناك اختيار مماثل هنا فليس ثمة ضرورة منطقية لكى نؤسس مقياس الطول على عضو فى فئة واسعة من الاجسام الصلبة نسبيا . وإنما نختار مثل هذه الاشياء لأنها موافقة أكثر لهذا الغرض . فإذا وقع اختيارنا على قضيب من المطاط أو الشمع واتخذناه وحدتنا للطول ، فلن نجد الا القليل جدا من الاجسام فى العالم التى تصلح لمعيارنا ، ومن ثم يصبح وصفنا للطبيعة شديد التعقيد . فإذا قمنا مثلا بقياس أجسام متعددة الأطوال ، ومصنوعة من الحديد ، بعصا ياردية yardstick مصنوعة من المطاط اللين ، فاننا ،

فى كل مرة تجرى فيها القياس ، نحصل على قيم مختلفة . ولن يرحب عالم الطبيعة بالطبع بأن يثقل كاهله بمجموعة من القوانين الفيزيائية المعقدة فى وصف مثل هذه الظواهر . أما إذا اخترنا ـ من الناحية الأخرى ـ قضيبا معدنيا واتخذناه مقياسا للطول ، فاننا نجد عددا كبيرا من الأجسام فى العالم التى تصلح لمعيارنا ، ومن ثم ندخل انتظاما أكبر بكثير ، وأبسط فى وصفنا للعالم .

وينشأ هذا الانتظام بالطبع ، من طبيعة العالم الواقعى . افترض أننا نحيا فى عالم تكون فيه الأجسام الحديدية صلبة نسبيا كل منها بالنسبة للأخرى ، والأجسام النحاسية صلبة نسبيا كل منها بالنسبة للأخرى . أما الجسم الحديدى فلايكون صلبا بالنسبة إلى جسم نحاسى . ليس ثمة تناقض منطقى هنا ، فهو عالم ممكن . فإذا عشنا فى مثل هذا العالم واكتشفنا أنه يحتوى على مقدار كبير من النحاس والحديد ، فكيف نختار بين الاثنين كأساس مناسب للقياس ؟ بالطبع سوف يكون لكل اختيار ضرره . فإذا كانت المعادن الأخرى شبيهة بذلك ، لواجهنا اختيارات صعبة أكثر . ولكن لحسن الحظ أننا نحيا فى عالم ليس على هذا النحو ، وإنما كل المعادن فيه صلبة بالنسبة لكل منها الأخرى . ولذلك ينبغى علينا أن نتخذ واحدة منها بوصفها مقياسا لنا . وعندما نفعل ذلك ، يتبين لنا أن الاجسام المعدنية الأخرى صلبة كذلك .

وهكذا ، يصبح من المرغوب فيه بشكل واضح أن نقيم مقياسنا للطول على قضيب معدنى أكثر منه على قضيب مطاطى ، كما نقيم مقياسنا للزمن على بندول أكثر منه على نبض القلب ، وذلك لأننا نميل إلى نسيان أن هناك مركبا اجرائيا فى اختيارنا لمقياس ما ، هذا المركب الذى شددت عليه فى أطروحتى للدكتوراه " فى المكان " on space وشدد عليه ريشنباخ أخيرا فى كتابه " فى المكان والزمان " " On space and time " .

□ الفصل العاشر □

# المقادير المشتقة واللغة الكمية

متى توصلنا إلى قواعد لقياس بعض المقادير ، مثل الطول المكانى ، وطـــول الزمن ، والكتلة ، يمكننا أن ندخل ـ على أساس تلك المقادير " الأولية ـ مقادير أخرى بالتعريف . وتسمى هذه المقادير ، المقادير " المعرفة " أو " المشتقة " . ويمكن تحديد قيمة المقدار المشتق دائما بطريقة غير مباشرة ، وذلك بمساعدة تعريفه من قيم المقادير الأولية المتضمنة فى التعريف .

ومع ذلك يمكن فى بعض الحالات أن نستحدث أداة تقيس المقدار المشتق بشكل مباشر . فعلى سبيل المثال ، ينظر إلى الكثافة بشكل عام على أنها مقدار مشتق ، لأن قياسها يعتمد على قياس طول وكتلة المقادير الأولية . وذلك بأن نقيس حجم وكتلة جسم ما بشكل مباشر ، ومن ثم نعرّف كثافته بوصفه حاصل الكتلة مقسوما على الحجم . ومن ناحية أخرى يمكن أن نقيس كثافة سائل بشكل مباشر ، وذلك عن طريق المسيل (١) a hydrometer ، وهو عبارة عن زجاجة عائمة لها ساق طويلة رفيعة مثل الترمومتر ( مقياس الحرارة ) ، وعلى الساق علامات لمقاييس تشير إلى العمق الذى تغوص فيه الاداة فى السائل محل الاختبار . وعن طريق قراءة هذا المقياس ، تتحدد كثافة السائل التقريبية بشكل مباشر . ومن ثم لاينبغى النظر إلى التمييز بين المقادير الأولية والمشتقة بوصفها شيئا أساسيا ، وإنما هو تمييز يعتمد على الاجراءات العملية التى يتبناها الفيزيائيون فى اجراء مقاييسهم .

وإذا لم يكن الجسم متجانسا ، لتحدثنا عن " كثافة متوسطة " ، وقد يكون من المغرى لشخص ما أن يقول أن كثافة مثل هذا الجسم ـ عند أى نقطة مفترضة ـ لابد من التعبير عنها بوصفها حاصل الكتلة المقسوم على الحجم ، ولكن لأن الموضوع منفصل ، فلايمكن تطبيق مفهوم الحد هنا . أما فى حالات المقادير المشتقة الأخرى فإن مفهوم الحد يعد ضروريا . افترض مثلا أن هناك جسما يتحرك بطول طريق ، وأنه اثناء الفاصل الزمنى للطول ت ، تحرك هذا الجسم بالطول المكانى م . ويمكننا الآن تعريف " سرعته " ، وهو مقدار مشتق آخر ، بوصفه خارج

قسمة Δم /Δت أما إذا كانت السرعة غير ثابتة ، لأمكننا فى هذه الحالــة فقــط أن نقــول أن " سرعته المتوسطة " أثناء هذا الفاصل الزمنى كانت Δم/Δت . فماهى سرعة الجسم فى نقطة زمنية معينة أثناء هذا الفاصل ؟ الحقيقة أنه لايمكن الاجابة على هذا السؤال عن طريق تعريف السرعة بوصفها خارج قسمة بسيط للمسافة على الزمن ، بل ينبغى أن ندخل مفهوم الحد على اعتبار أن الفاصل الزمنى يقترب من الصفر . وبكلمات أخرى ، ينبغى أن نستخدم ما يسمى فى الحساب " بالمشتق " derivative " وبدلا من خارج القسمة البسيط Δم/Δت ، نحصل على المشتق التالى :

$$\frac{\text{ق م}}{\text{ق ت}} = \text{الحد } \frac{\Delta \text{م}}{\Delta \text{ت}} \quad \text{بالنسبة لـ } \Delta\text{ت} \longrightarrow \text{صفر}$$

ويطلق على هذا اسم " السرعة اللحظية " " instantaneous velocity " للموضوع ، لأنه يعبر عن سرعة فى نقطة زمنية مخصوصة ، أكثر من تعبيره عن سرعة متوسطة لفاصل أعلى . وهذا بالطبع مثال آخر للمقدار المشتق الذى يمكن أن يقاس ـ مثل مفهوم الكثافة ـ بطريقة مباشرة أيضا ، وذلك عن طريق أدوات معينة ، مثل عداد سرعة السيارة ، فهو يعطى قياسا مباشرا لسرعة السيارة اللحظية .

وقد استخدم أيضا مفهوم الحد فى تعريف المقدار المشتق للتسارع acceleration فإذا كان لدينا السرعة س وتغير فى تلك السرعة Δس التى تحدث من وقت لآخر ، وكان الفاصل الزمنى هو Δت والتغير فى السرعة Δس ، فإن التسارع ، أو المعدل الذى تتغير فيه السرعة يكون Δت/Δس . ومرة أخرى ، ينبغى أن ننظر إلى هذا بوصفه " نسبة للتسارع " أثناء الفاصــــل الزمنى Δت . وإذا أردنا أن نتحدث عن " التسارع اللحظى " فى نقطة زمنية مفترضة ، بدقة أكثر ، علينا أن نتخلى عن خارج القسمة للقيمتين المتناهيتين ، ونستعيض عنه بالمشتق التالى :

$$\frac{\text{ق س}}{\text{ق ت}} = \text{الحد } \frac{\Delta \text{س}}{\Delta \text{ت}} \quad \text{بالنسبة لـ } \Delta\text{ت} \longrightarrow \text{صفر}$$

ولذلك فإن التسارع اللحظى يكون هو نفسه المشتق الثانى لـ م بالنسبة إلى ت : والاختيار الاجرائى معناه ، أنه ليس ثمة علة منطقية تمنعنا من اختيار قضيب المطاط أو نبض القلب ، وإنما كل ما فى الأمر أننا سوف ندفع الثمن غاليا جدا خاصة إذا كنا بصدد تطوير الفيزياء ،

لأنهـــا سوف تصبح معقدة بشكل خيالى ، وذلك بسبب تعاملنا مع عالم من عدم الانتظام الكامل . ولايعنى هذا بالطبع أن الاختيار تم عشوائيا ، وإنما الاختيار الواحد مشروع تماما مثل أى اختيار آخر . كما أنه هناك أسس عملية متينة ، ألا وهى وجود العالم على ما هو عليه بالنسبة لتفضيل قضيب الصلب والبندول .

وقد نختار فى أحدى المرات مقياسا معياريا مثل قضيب من الصلب ، ونواجه باختيار آخر . ويمكننا أن نقول أن طول هذا القضيب المعين هو وحدتنا ، بقطع النظر عن التغيرات فى درجة حرارته أو مغناطيسيته وهكذا ، أو يمكننا أن ندخل عوامل تصحيح معتمدة على مثل هذه التغيرات . ومن الواضح أن الاختيار الأول يعطى قاعدة أبسط ، ولكن إذا تبنيناه قد نواجه مرة أخرى بنتائج غريبة . فإذا سخن القضيب ، وقمنا حينئذ باستخدامه فى عملية القياس ، نجد أن كل الاجسام الأخرى فى العالم قد انكمشت ، وعندما يبرد القضيب نجد أن كل الاجسام الأخرى فى العالم تتمدد مرة أخرى . ومن ثم نصبح مضطرين إلى أن نصوغ كل القوانين الشاذة والغريبة ، ومع ذلك لن يكون ثمة تناقض منطقى ، ويمكننا القول أنه اختيار ممكن .

والاجراء الثانى هو أن ندخل عوامل تصحيح ، وبدلا من اشتراط أن الجزء الذى يقع بين العلامتين لابد أن يكون طوله ل٥ ( وليكن ١ أو ١٠٠ ) ، نفترض الآن أن طوله عاديا أى ل٥ فقط ، عندما تكون درجة حرارة القضيب ت٥ ، وهى درجة الحرارة التى اخترناها باعتبارها درجة حرارة " معتادة " ، أما فى أى درجة حرارة أخرى ت ، فإن طول الجزء يكون على النحو التالى :

ل = ل ٥ [ ١ + ب ( ت ـ ت ٥ ) ] .

حيث أن ت تعد ثابتا ( ويطلق عليها اسم " معامل التمدد الحرارى " ) التى هى صفة مميزة لمادة القضيب . وبنفس الطريقة ندخل تصحيحات مشابهة على الشروط الأخرى ، مثل وجود مجال مغناطيسى قد يؤثر أيضا فى طول القضيب . وهكذا يفضل الفيزيائيون كثيرا هذا الاجراء المعقد ـ ادخال عوامل تصحيح ـ وذلك لنفس السبب الذى على أساسه اختاروا قضيبا معدنيا بدلا من مطاطى . فان هذا الاختيار إنما يؤدى إلى تبسيط واسع للقوانين الفيزيائية .

أ = ق س = ق ٢ م

ق ت      ق ت ٢

وربما يقول فيزيائي من حين لآخر أن كثافة نقطة معينة في جسم فيزيائي هو المشتق في كتلته بالنسبة إلى حجمه ، ولكن هذه الطريقة تقريبية فقط في الحديث ، ولايمكن أن نأخذ قضيته بشكل حرفي ، لأنه على الرغم من أن المكان والزمان ، في فيزياء اليوم ، غير منفصلين ، إلا أن توزيع الكتلة في الجسم ، لايوجد ـ على الأقل في المستوى الجسيمي أو الذرى . ولهذا السبب لايمكننا الحديث بشكل حرفي عن الكثافة بوصفها مشتقة بالمعنى الذى يمكن لمفهوم هذا الحد أن ينطبق على المقادير المستمرة ( غير المنفصلة ) بشكل حقيقي .

وهناك العديد من المقادير المشتقة الأخرى في الفيزياء . ولكي نتعرض لها ، علينا ألا ننزلق في أحكام معقدة مثل تلك التي ناقشناها من قبل عندما تعرضنا للمقادير الأولية . ولقد تعرضنا فقط لتعريف كيف يمكن للمقادير المشتقة أن تحتسب من قيم المقادير الأولية . التي يمكن قياسها بشكل مباشر .

وتواجهنا في بعض الاحيان مشكلة محيرة تتعلق بالمقادير الأولية والمشتقة معا . ولكي نوضح ذلك ، تخيل أن لدينا المقدارين م١ و م٢ ، وأنه عند فحصنا لتعريف م١ أو القواعد التي ترشدنا إلى كيفية قياسه نجد أن المقدار م٢ متضمن فيه ، فإذا عدنا إلى التعريف أو القواعد الخاصة بـ م٢ ، نجد أن م١ متضمن فيه . هذا يعطي انطباعا بالدور في الاجراءات ، ولكن يمكن تجنب هذا الدور ببساطة عن طريق ما يسمى بمنهج التقريب المتتابع Method of succesive appoximation .

ولعلك تتذكر أننا درسنا في الفصل السابق المعادلة التي تعرّف طول قياس القضيب ، ووجدنا في تلك المعادلة عامل تصحيح للتمدد الحراري . أي أن درجة الحرارة كانت ضمن مجموعة من القواعد المستخدمة في قياس درجة الحرارة . ولعلك تتذكر أيضا أننا في معرض عرضنا لقواعد قياس درجة الحرارة ، أشرنا إلى الطول أو بالأحرى إلى حجم سائل الاختبار المستخدم في الترمومتر ، ولكن هذا الحجم قد تحدد بالطبع بمساعدة الطول . ومن ثم يبدو أن لدينا هنا مقدارين ، الطول ، ودرجة الحرارة ، كل منهما يعتمد على الأخر في تعريفه ، ويبدو في هذا الأمر دورا ، ولكنه في الحقيقة ليس كذلك .

هناك طريقة واحدة فقط للخروج من هذا المأزق ، وهي أن ندخل أولا مفهوم الطول دون اعتبار لعامل التصحيح الخاص بالتمدد الحراري . غير أن هذا المفهوم لن يعطينا مقاييس شديدة

الاحكام ، ولكنه سوف يؤدى وظيفته بطريقة مرضية إلى حد ما ، إذا لم يكن مطلوبا الاحكام الدقيق . فإذا كان قضيب الحديد مثلا هو المستخدم فى القياس ، لكان التمدد الحرارى ـ تحت الظروف العادية ـ صغيراً إلى الحد الذى تظل فيه المقاييس محكمة إلى حد ما . وسوف يزودنا هذا بمفهوم أول عن الطول المكانى ل ١ . ويمكننا الآن استخدام هذا المفهوم فى عمل ترمومتر ، فإذا كنا بصدد قياس قضيب من الحديد ، نضع علامة بطول الانبوبة التى تحتوى على سائل الاختبار ، ولأننا يمكننا عمل هذا المقياس باحكام مناسب ، فاننا نحصل أيضا على احكام مناسب عندما نقيس درجة الحرارة على هذا المقياس . وبمثل هذه الطريقة ندخل مفهومنا الأول عن درجة الحرارة ح١ . ويمكننا الآن استخدام ح١ فى صياغة مفهوم دقيق للطول ل ٢ ، ويتم ذلك عن طريق ادخال ح١ ضمن القواعد التى تعرف الطول . ومن ثم يتيح لنا المفهوم الدقيق للطول ل ٢ أن نؤسس مقياسا أكثر دقة لمقياسنا الحرارى ، ويؤدى هذا بالطبع إلى ح٢ الذى يعد مفهوما دقيقا لدرجة الحرارة .

إن هذا الاجراء الذى عرضنا له ، سوف يدخل تحسينات ملموسة على مفهومى الطول ودرجة الحرارة معا ، بحيث تصبح الأخطاء المتوقعة طفيفة جدا . أما فى حالات أخرى ، فقد نضطر إلى اعادة الكرّة مرات عديدة قبل أن تؤدى التحسينات المتتالية إلى مقاييس دقيقة بشكل يفى باغراضنا . وينبغى التسليم بأننا لن نصل أبدا إلى منهج دقيق دقة مطلقة لقياس أى مفهوم من المفاهيم . ومع ذلك فاننا نؤكد على أنه إذا كررنا هذا الإجراء أكثر من مرة بادئين من المفهومين بشكلهما الفج ، ثم قمنا بتنقيح كل منهما بمساعدة الآخر ، لتوصلنا فى نهاية الأمر إلى قياسات أكثر دقة . وبهذه الطريقة التقنية للتقريبات المتتالية ، نتخلص فيما يبدو لنا من الوهلة الأولى أنه دائرة فاسدة .

وسوف نشرع الآن فى معالجة مسألة طالما احتلت مكانا بارزا عند الفلاسفة ألا وهى : هل يمكن للقياسات أن تنطبق على كل مظهر من مظاهر الطبيعة ؟ ألا يمكن أن تكون هناك مظاهر معينة من العالم أو حتى أنواع معينة من الظواهر لايمكن أن تخضع ـ من حيث المبدأ ـ للقياس ؟ ربما يسلم بعض الفلاسفة مثلا ، بأن كل شئ فى العالم الفيزيائى خاضع للقياس ( على الرغم من انكار البعض الآخر لذلك تماما ) ولكنهم يعتقدون عدم امكان ذلك إذا تعلق الأمر بالنشاط العقلى ، بل إن بعضهم يذهب إلى المدى الذى يرون فيه أن كل شئ عقلى لا يقبل القياس .

وربما تكون حجة الفيلسوف الذى يأخذ بوجهة النظر هذه ، على النحو التالى : " من حيث

المبدأ ، لايمكن قياس حدة الشعور أو شدة الألم أو درجة القوة التى أتذكر بها حادثا ماضيا . ربما أشعر أن تذكرى لحادث ما ، أكثر قوة من تذكرى لحادث آخر ، ولكننى لا استطيع أن أزعم أن قوة حادث ما يساوى ١٧ درجة بينما الحادث الآخر قوته ٥ر١٢ درجة . ومن ثم فأن قياس شدة التذكر مستحيل من حيث المبدأ . "

وللرد على وجهة النظر هذه ، دعنا نفترض أولا مقدارا من الثقل الفيزيائى . إنك عندما تلتقط حجرا وتجد أنه ثقيل ، وتقارنه بحجر آخر وتجد أنه أخف منه كثيرا ، ثم فحصت الحجرين ، فلن ترى فيهما أى أعداد أو أى وحدات منفصلة تمكنك من احصائها . إذ أن الظاهرة نفسها لا تحتوى على أى شئ عددى ، وإنما فقط على احساساتك الخاصة بالثقل . وما عليك ـ كما رأينا فى الفصل السابق ـ الا أن تدخل المفهوم العددى وذلك عن طريق اقامة اجراء لقياسه . وهذا بالتحديد هو الذى نشير إليه بوصفه أعدادا للطبيعة . numbers to nature . أما الظواهر نفسها فلاتكشف لنا الا الكيفيات التى نلاحظها . ومن ثم فإن كل شئ يقبل الحصر بعد اختراع أدوات قياسه ، وبالتالى يصبح كل شئ عدديا ، بالإضافة إلى الأعداد الأصلية التى تتعلق بالموضوعات المنفصلة .

وإذن فإن ردنا على السؤال الفلسفى الاساسى ، ينبغى ـ فيما اعتقد ـ أن يصاغ بهذه الطريقة ـ أنك إذا وجدت فى أى مجال من مجالات الظواهر ، انتظاما كافيا ، بحيث يمكنك عقد مقارنات بينها ، والقول بأنه ، فيما يختص بعلاقة ما ، أن هذا الشئ أكثر من ذلك ، وأن ذلك الشئ أكثر من شئ آخر ، إذن لكان هناك ، من حيث المبدأ ، امكانية للقياس . والان لابد أن يكون لك من الكفاءة ، ما يجعلك مؤهلا لاختراع القواعد التى عن طريقها يمكن للاعداد أن تشير إلى الظواهر بطريقة مفيدة . وكما رأينا ، فان الخطوة الأولى للوصول إلى ذلك هى الحصول على قواعد مقارنة ، وإن أمكن ، قواعد كمية . وعندما نشير بالاعداد إلى الظواهر ، لا يصبح هناك مجال للسؤال عما إذا كانت هذه الأعداد أعدادا " صحيحة " أم لا ، لأننا ببساطة نخترع أحكاما تحدد كيف يمكن للأعداد أن تشير إلى الظواهر . ومن وجهة النظر هذه ، لايوجد شئ ، من حيث المبدأ ، لايمكن قياسه .

والحقيقة أننا ، حتى فى علم النفس نجرى قياسات . فقد أدخلت قياسات الشعور فى القرن التاسع عشر ، ولعل القارئ يتذكر قانون فيبر ـ فتشنر Weber Fechner law ، الذى قيل عنه فى ذلك الحين أنه مجال للسيكو ـ فيزياء psycho- physics . إذ أن الشعور الذى

يخضع للقياس كان متعلقا أولا بشئ ما فيزيائى ، ومن ثم كانت القواعد توضع لتحدد درجة كثافة الشعور . فقد كانت قياسات الشعور تجرى على سبيل المثال بالضغط على جلد البشر عن طريق اثقال متعددة ، أو الاحساس بطبقة الصوت أو درجته ، وهكذا . وعند الحديث عن قياس طبقة الصوت ، فإن حديثنا ينصب هنا على الاحساس ، وليس على تردد موجة الصوت ، ومن ثم فاننا نؤسس قياسنا على أصغر وحدة تشير إلى الاختلاف فى طبقة الصوت ، بحيث يمكن لأى شخص التعرف على ذبذباته . ولقد اقترح س . س ستيفنز S.S.Stevens ، فى فترة ما ، اجراءً آخر يعتمد على مطابقة موضوع ما لطبقة الصوت ، الذى رأى أنه فى منتصف الطريق تماما بين طبقتى صوت آخرين . وهكذا استطعنا - بطرق متعددة - أن نخترع مقاييس تقيس مقادير سيكلوجية معينة . غير أن هذا الأمر لم يصل إلى صورته المكتملة بالتأكيد . وذلك لأن هناك استحالة مبدئية فى تطبيق المنهج الكمى على ظواهر سيكلوجية .

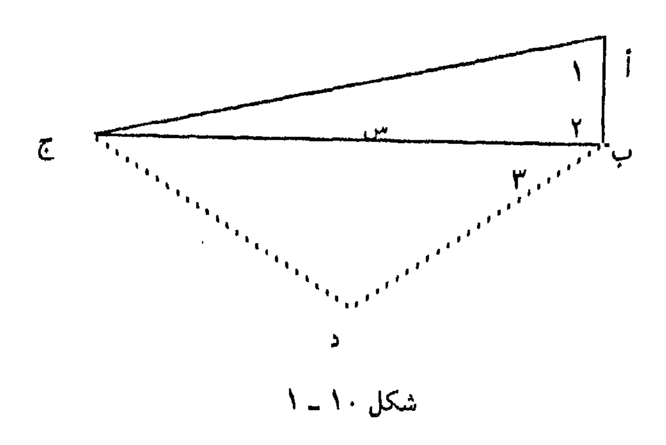
وعند هذه النقطة ، ينبغى أن نعلق على حدود اجراء القياس . أولا لا يوجد أدنى شك فى أن القياس يعد واحدا من الاجراءات الأساسية فى العلم ، ولكن فى الوقت نفسه ، لايدعونا هذا إلى المغالاة فى تقدير الحدود التى يمكن أن يصل إليها . إذ أن تحديد اجراء القياس لايعطينا المعنى الكامل للمفهوم الخاضع للقياس . ومن الأفضل أن ندرس تطور العلم ، وبصفة خاصة ، العلم الذى شهد تطورا سريعا ، وأعنى به علم الفيزياء . ومن الأفضل أيضا أن نتوخى الحذر ونسلم بحقيقة أن المعنى الكلى لمفهوم ما لايمكن الاتيان به بمجرد اجراء القياس . أن هذا يصدق حتى على أبسط المفاهيم .

وكمثال على ذلك ، ندرس الطول المكانى . إذا كنا بصدد اجراء قياس الطول عن طريق قضيب صلب ، فلايمكن أن ينطبق هذا الاجراء إلا على قيم متوسطة معينة بحيث لاتكون كبيرة جدا ولا صغيرة جدا . إذ يمكن تطبيقه مثلا على طول صغير مثل الملليمتر أو جزء من الملليمتر ، ولكن ليس على الألف من الملليمتر ، لأن نموذج هذا الاجراء لايمكن أن نقيس به الأطوال الصغيرة جدا . كذلك لايمكن تطبيقه على المسافة من الأرض إلى القمر ، أو حتى المسافة بين الولايات المتحدة وانجلترا دون أن يكون فى مقدورنا أولا بناء جسر قوى بينهما . إننا نواصل الحديث بالطبع عن المسافة المكانية بين هذا القطر وانجلترا ، وقصدنا من ذلك هو المسافة التى يمكن قياسها بقضيب قياس بشرط أن يكون سطح الأرض بين القطرين فى حالة صلبة ، غير أن السطح ليس صلبا ، وحتى إذا كان كذلك ، فلابد أن نخترع اجراءً آخر لقياس الطول .

وهذا القياس يمكن أن يكون على النحو التالى . نحدد مسافة معينة على الأرض ، بقضيب

قياس ، ولتكن هذه المسافة بين النقطتين أ ، ب ( انظر الشكل ١٠ ـ ١ ) وعن طريق هذا الخط أ ب بوصفه الخط الاساسى يمكننا أن نحدد المسافة من ب إلى النقطة جـ المتباعدة عنها ، دون أن نستخدم قضيب القياس . وعن طريق أدوات المساحة ( مسح الأراضى ) ، نقوم بقياس الزاويتين ١ ، ٢ . كما أن نظريات الهندسة الفيزيائية تمكننا من حساب طول الخط س الذى هو المسافة بين ب ، جـ . وبمعلومية هذه المسافة ، وقياس الزاويتين ٣ ، ٤ ، يمكننا أن نحسب المسافة من ب إلى نقطة أبعد ولتكن د . وهكذا عن طريق اجراء يطلق عليه اسم " التثليث " traingulation (٢) نستطيع أن نقيس شبكة واسعة من المسافات . وبهذه الطريقة نتمكن من رسم خريطة لقطر واسع .

ويستخدم الفلكيون التثليث أيضا فى قياس المسافات من الأرض إلى أقرب النجوم التى تنتمى إلى مجرتنا ، ولأن المسافات التى على الأرض قصيرة جدا بحيث تصلح للاستخدام كخطوط أساسية ، فإن الفلكيين يستخدمون المسافة من نقطة مدار الأرض إلى النقطة المقابلة لها .




شكل ١٠ ـ ١

غير أن هذا المنهج تنقصه الدقة الكافية ، إذا ما تعلق الأمر بالنجوم التى تبعد عن مجرتنا بمسافات كبيرة جدا أو بقياس مسافات لمجرات أخرى . ويتطلب الأمر عندئذ استخدام مناهج أخرى . فقد نتمكن مثلا من تحديد الضوء الحقيقى لنجم من طيفه ، وذلك عن طريق مقارنة هذا الضوء بضوء لنجم مماثل له سبق أن رصدناه من على الأرض ، وتمكنا من تقدير مسافته . وهناك أيضا العديد من المناهج الخاصة بقياس المسافات ، لانقوم فيها بتطبيق قضيب القياس بشكل مباشر . فقد نرصد مقادير معينة ، وعلى أساس قوانين ارتباط هذه المقادير بمقادير أخرى ،

نتوصل إلى تقديرات غير مباشرة للمسافات .

وعند هذه النقطة تواجهنا مشكلة . إذا كان هناك اثنا عشر منهجا مختلفا لقياس مقدار فيزيائى معين ، كالطول مثلا ، ألا يحق لنا أن نتحدث عن اثنى عشر مفهوما للطول بدلا من مفهوم واحد ؟ ولقد تصدى لهذه المشكلة الفيزيائى وفيلسوف العلم بريدجمان P.W. Bridg-man فى مؤلفه الكلاسيكى الحديثة " منطق الفيزياء الحديث " The Logic of Modern Physics ( ماكميلان ، ١٩٢٧ ) ، وشدد بريدجمان على وجهة النظر التى تقول أن كل مفهوم كمى لابد أن يعرّف عن طريق قواعد تكون متضمنة فى اجراء قياسه . ويسمى هذا فى بعض الاحيان " بالتعريف الاجرائى " للمفهوم . ولكن إذا كان لدينا العديد من التعريفات الاجرائية للطول ، فانه طبقا لبريدجمان لا يمكننا الحديث عن مفهوم الطول . وإذا فعلنا ذلك لكان علينا أن نتخلى عن فكرة تعريف المفاهيم عن طريق اجراءات قياس محددة .

ووجهة نظرى فى هذا الموضوع على النحو التالى . أننى اعتقد أن من الأفضل أن نلاحظ مفاهيم الفيزياء بوصفها مفاهيم نظرية فى عملية وجود متعين بطرق أقوى فأقوى ، وليست بوصفها مفاهيم تم تعريفها بشكل كامل عن طريق احكام اجرائية .ففى الحياة اليومية نجرى ملاحظات متعددة للطبيعة ، ونصف هذه الملاحظات فى حدود كيفية مثل " طويل " ،" قصير " ، " ساخن " ، " بارد "، وأيضا فى حدود مقارنة مثل " أطول " ، " أقصر " ، " أسخن "، " أكثر برودة " وهكذا ، إذن لغة الملاحظة هذه ترتبط باللغة النظرية للفيزياء عن طريق قواعد اجرائية معينة ، ولذلك فاننا ندخل فى اللغة النظرية مفاهيم كمية مثل الطول والكتلة . ولكن لاينبغى أن نفكر فى مثل هذه المفاهيم بوصفها معرّفة بشكل واضح . إذ أن هذه القواعد الاجرائية بالاضافة إلى كل مسلمات الفيزياء النظرية تساهم فى اعطاء تعريفات جزئية أو على الاصح تفسيرات جزئية للمفاهيم الكمية .

إلا أننا نعلم تماما أن هذه التفسيرات الجزئية تعريفات غير نهائية وغير مكتملة ، لأن الفيزياء تقوم بتدعيمها ، على الدوام ، بقوانين حديثة وقواعد عملية حديثة . ولا نهاية لهذه العملية فى الفيزياء المنظورة ، لأنها بعيدة عن التوصل إلى مجموعة كاملة متطورة من الاجراءات ، ولذلك ينبغى أن نقنع بالحصول على تفسيرات جزئية فقط ، وغير مكتملة لجميع المصطلحات النظرية . ويضمن العديد من الفلاسفة حدودا مثل " الطول " فى مفردات ملاحظة ، وقياسها يمكن أن يتم باجراءات بسيطة ومباشرة . وأننى لاأفضل تصنيفها على هذا النحـــو .

صحيح أننا نقـول فى لغة الحياة اليومية " أن طول حافة هذه المنضدة ثلاثون بوصة " ، ونستخدم " الطول " بمعنى يمكن تعريفه عن طريق اجراء قضيب القياس البسيط . ولكن هذا هو المعنى الضيق فقط من المعنى الكلى الشامل لمفهوم الطول . فهو المعنى الذى ينطبق فقط على مدى معين متوسط من القيم التى ينطبق عليها تقنية قضيب القياس . ولايمكن أن يطبق على المسافة التى تقع بين مجرتين أو بين جزيئين من جزيئات المادة . ومن الواضح حتى الآن أننا نحتفظ فى ذهننا بنفس المفهوم عن الحالات الثلاث . وبدلا من القول أن لدينا العديد من المفاهيـم عـن الطول ، وأن كل منها يتم تعريفه باجراء عملى مختلف ، فاننى أفضل القول أن لدينا مفهوما واحدا عن الطول يتم تعريفه جزئيا عن طريق نظام كامل للفيزياء ، مشتملا على قواعد لجميع الاجراءات العملية المستخدمة فى قياس الطول .

ويصدق نفس الشئ على مفهوم الكتلة . فإذا كنا نحصر معناه فى تعريف يشير إلى توازن كفـتى ميزان ، لأمكننا أن نطبق الحد هذا المصطلح على مدى صغير متوسط من القيم . ولايمكننا أن نتحدث عن كتلة القمر أو جزئ أو حتى كتلة جبل أو منزل . إذ لابد أن نميز بين عدد من المقادير المختلفة ، كل منها بتعريفها العملى الخاص . وفى الحالات التى يمكن أن نطبق فيها منهجين مختلفين لقياس كتلة نفس الموضوع ، نقول فى تلك الحالات أن للمقدارين الحادثين نفس القيمة . وسوف يؤدى كل هذا ، فى رأيى ، إلى طريقة فى الحديث شديدة التعقيد . ومن الأفضل ، فيما يبدو ، أن نتبنى الصيغة اللغوية التى يستخدمها معظم الفيزيائيين ، وننظر إلى الطول ، والكتلة وما إلى ذلك بوصفها مفاهيم نظرية ، وليست مفاهيم متعلقة بالملاحظة ، يتم تعريفها باجراءات قياس معينة .

هذه الأطروحة ليست أكثر من موضوع تفضيل فى اختيار لغة فعالة . فليس ثمة طريق واحد لبناء لغة العلم ، وإنما هناك مئات الطرق المختلفة . ويمكننى أن أقول فقط أنه من وجهة نظرى ، فإن هذه الأطروحة الخاصة بالمقادير الكمية تتصف بالعديد من المزايا . الا أننى لم اكن أتبنى على الدوام وجهة النظر هذه ، بل كنت ، فى وقت ما اتفق مع العديد من الفيزيائيين ، على النظر إلى مفاهيم الطول والكتلة وما اليهما بوصفها " خاضعة للملاحظة " ـ حدود فى لغة يمكن ملاحظتها ـ ولكننى كنت أميل أكثر فأكثر إلى توسيع دائرة اللغة النظرية حتى تتضمن مثل هذه الحدود . وسوف نناقش اخيرا الحدود النظرية بتفصيل أكثر . أما الآن فاننى أريد أن أوضح أنه لاينبغى ـ من وجهة نظرى ـ التفكير فى الاجراءات المتعددة للقياس بوصفها مقادير معرفة بأى معنى نهائى ، لأنها مجرد حالات خصوصية أطلق عليها اسم " قواعد المطابقة " correspon-

dence rules لأنها تساعد على ربط حدود اللغة الملاحظة مع حدود الغة النظرية .

***

### هوامش

(١) المسبل ( الهيرومتر ) هو مقياس الثقل النوعي للسوائل ( المترجم ) .

(٢) وهو الاجراء الذي يستخدم في عملية المسح أو القياس بالاستعانة بعلم حساب المثلثات (المترجم ) .

## الفصل الحادى عشر

# فوائد المنهج الكمى

لاتستمد المفاهيم الكمية من الطبيعة ، وإنما تنشأ من ممارستنا لتطبيق الأعداد على الظواهر الطبيعية . فماهى الفوائد التى تعود علينا من ذلك ؟ إذا كانت المقادير الكمية مستمدة من الطبيعة ، لما استطعنا أن نسأل سؤالا أكثر من هذا السؤال : ما هى فوائد الألوان ؟ ربما لم يكن للطبيعة ألوان ، ولكن لحسن الحظ أن نجدها فى العالم ، إنها ببساطة جزء من الطبيعة ، ولايمكننا أن نتصرف حيالها أى تصرف . أما فيما يتعلق بالمفاهيم الكميـة ، فان الموقف يختلف ، لأنها جزء من لغتنا ، وليست جزءا من الطبيعة . نحن الذين نقوم بتقديمها ، ولذلك يحق لنا أن نتساءل لماذا نقوم بتقديمها ، لماذا نتكبد كل هذه المتاعب فى ابتكار القواعد والمسلمات المعقدة لكى نحصل أخيرا على مقادير يمكن قياسها بمقاييس عددية ؟

لابد أننا نعرف جميعا اجابة هذا السؤال . لقد قلنا مرارا وتكرارا أن التقدم الهائل للعلم ، وبصفة خاصة فى القرون القليلة الماضية ، لم يكن متاحا بدون استخدام المنهج الكمى ( ولقد كان جاليليو هو أول من أدخل هذا المنهج بطريقة محكمة . ولاشك أن آخرين قد استخدموا هذا المنهج قبل ذلك ، ولكن إليه يرجع الفضل فى اعطاء قواعد واضحة له ) ، ومازالت الفيزياء تسعى ، كلما أمكنها ذلك ، إلى ادخال مفاهيم كمية . ولقد حذت علوم أخرى حذوها فى العقود الأخيرة . ولايداخلنا أدنى شك فى أن هذا كله مفيد ، ولكن من الأفضل لنا أن نعرف ، وبدقة تفصيلية أكبر ، أين تكمن مثل هذه الفوائد ؟ .

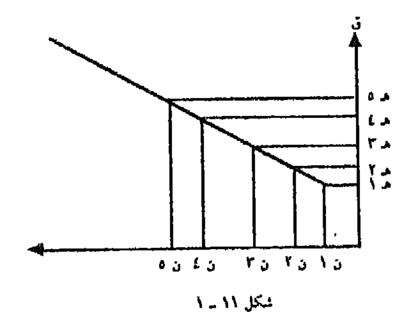
أولا وقبل كل شئ ، هناك زيادة كبيرة فى فعالية مفرداتنا ، وبرغم أن هذه الفائدة تعد ضئيلة الشأن ، إلا أننا كنا قبل أن ندخل مفهوم الكم ، نستخدم العديد من الألفاظ أو الصفات الكيفية المختلفة ليتسنى لنا وصف الحالات الممكنة المتعددة لمقدار موضوع ما . إذ كنا ، فى غياب مفهوم درجة الحرارة مثلا ، نتحدث عن شئ ما بوصفه " ساخن جـدا " أو " ساخـن " أو " دافئ " أو " فاتر " أو " بارد نوعا ما " أو " بارد " أو " بارد جدا " ، وهكذا . وهذا هـو ما

نطلق عليه اسم المفاهيم التصنيفية . فإذا كان لدينا مئات قليلة من تلك الصفات ، ربما تصورنا أنه ليس ضروريا ، بالنسبة لأغراض الحياة اليومية المتعددة ، أن ندخل المفهوم الكمى لدرجة الحرارة . وبدلا من قولنا " أنها اليوم ٩٥ درجة " نطلق صفة طريفة تشير بدقة إلى درجة الحرارة هذه ، وبالنسبة للمائة درجة نطلق صفة أخرى ، وهكذا .

ولكن ماهى الصعوبة الكامنة فى هذه الطريقة ؟ أولا سيكون من الصعب جدا على ذاكرتنا ليس فقط أن تحتفظ بعدد كبير من الصفات المختلفة ، وإنما أيضا أن تتذكر انتظاماتها ، ولذلك سيكون علينا أن نعرف ما إذا كان هذا اللفظ المعين يشير إلى شئ أعلى أو أخفض مـن شئ آخر ، ولكن إذا أدخلنا مفهوما واحدا لدرجة الحرارة بحيث يرتبط هذا المفهوم بحالات جسم ما عن طريق الأعداد ، فلن يكون علينا سوى أن نتذكر لفظا واحدا فقط ، ونعوّض انتظام المقدار فى الحال عن طريق انتظام الأعداد . صحيح أننا ينبغى أن نتذكر الأعداد سلفا ، ولكن هذا يسير يمكننا فعله فى أى وقت ، كما يمكننا أن نطبق الاعداد على أى مقدار كمى . والا لكان علينا أن نتذكر مجموعة مختلفة من الصفات تناسب كل مقدار وتصلح لكل حالة ، بل وأن نتذكر انتظامها النوعى . هذه الفائدة تعد ثانوية للمنهج الكمى .

أما الفائدة الرئيسية ، وكما رأينا فى الفصول السابقة ، فهى أن المفاهيم الكمية تسمح لنا أن نصوغ قوانين كمية . ومثل هذه القوانين بوصفها وسائل لتفسير الظواهر تعد أكثر قوة إلى حد بعيد ، كما أنها تعد وسيلة فعالة للتنبؤ بظواهر جديدة . أما اللغة الكيفية ، فحتى فى حالة اثراء مثل هذه اللغة فان ذاكرتنا لن تنوء فقط بحمل المئات من الصفات الكيفية ، وإنما سنواجه أيضا بصعوبة بالغة فى التعبير حتى عن أبسط القوانين .

افترض مثلا أن لدينا موقفا تجريبيا نلاحظ فيه أن مقدارا معينا م يعتمد على مقدار معين آخر ق . نرسم هذه العلاقة رسما بيانيا ، فيعطينا المنحنى المبين فى الشكل ١١ ـ ١ .



شكل ١١ ـ ١

نضع المقدار م على الخط الأفقى لهذا الرسم ، ونفترض له القيم ن١ ، ن٢ ... وبالنسبة لقيم المقدار م نتخذ قيما للمقدار ق ، ولتكن هـ١ ، هـ٢ ... وبعد وضع النقاط التى تشير إلى قيم كل منهما على الرسم البيانى ، نصل هذه النقاط بمنحنى بسيط وربما يتخذ خطا مستقيما ، وفى هذه الحالة نقول أن م دالة خطية a linear Function لـ ق . ونعبر عن هذا بأن ق = أ م + ب بحيث تكون أ ، ب متوازين ثابتين فى الموقف المفترض . أما إذا اتخذت النقاط درجة المنحنى الثانى فاننا نحصل على دالة تربيعية a quadratic Function . وربما تكون م لوغارتما لـ ق ، أو ربما تكون دالة معقدة أكثر بحيث ينبغى أن نعبر عنها فى حدود من الدوال البسيطة المتعددة . وبعد أن نحدد الدالة الملائمة نجرى اختبارا عن طريق تكرار المشاهدات لنتأكد من أننا قد وجدنا بالفعل دالة تمثل قانونا كليا مرتبطا بالمقدارين .

ماذا يحدث فى هذا الموقف إن لم يكن لدينا لغة كمية ؟ افترض أن لدينا لغة كيفية شديدة الثراء فى مفرداتها مثلما هو موجود فى اللغة الانجليزية الحالية . فهل نستطيع الحصول على الفاظ تشير إلى " درجة الحرارة " فى لغتنا الكمية . إن كل ما نستطيع الحصول عليه فى الحقيقة إنما هو بعض الصفات المتوسطة التى تطلق على كل كيف ، وأن تكون هذه الصفات منتظمة بدقة . وبدلا من القول من مشاهدتنا الأولى أن م = ن١ ، سوف نقول أن الموضوع الذى شاهدناه هو كذا مستخدمين هنا واحدة من الصفات المتوسطة التى تشير إلى م . وبدلا من القول أن ق = هـ ١ سيكون لدينا جملة أخرى تستخدم فيها واحدة من الصفات المتوسطة التى نستدل بها على كيفيـــة ق . وبتعبير أدق لن تنطبق الصفتين على النقاط التى على محاور رسمنا البيانى ، ولن يكون فى مقدورنا أن نحصل على صفات كافية نقوم بتطبيقها على جميع النقاط التى على الخط ، وإنما كل ما سوف نحصل عليه هو فواصل بطول كل خط . وسوف تشير الصفة مثلا ، إلى فاصل يحتوى على ن ١ . وتنطبق الفواصل المتوسطة التى على طول محور م على صفاتنا المتوسطة لـ م ، وقد لايكون لهذه الفواصل حدود فاصلة أو قد تتداخل إلى حد ما . ومن ثم لن نستطيع أن نعبر ـ عن طريق هذه اللغة ـ عن قانون بسيط يأخذ مثلا الصورة ق = أ + ب م + جـ م ٢ . قد نستطيع مثلا أن نحدد على وجه الدقة كيف نزاوج بين صفة متوسطة لـ م مع صفة متوسطة لـ ق ، ولكن لانستطيع أن نعبر عن هذا القانون البسيط .

وبتحديد أكثر ، افترض أن م تشير إلى كيفيات تعبر عن السخونة ، وتشير ق إلى الألوان ، فإن القانون الذى يربط بين هاتين الكيفيتين سوف يتألف من مجموعة من القضايا الشرطية المتوسطة التى تأخذ الصورة " إذا كان الموضوع ساخنا جدا جدا جدا ( وبالطبع سيكون لدينا صفة

واحدة للتعبير عن هذا ) ، إذن لكان لونه احمر ساطعا ولدينا بالفعل فى اللغة الانجليزية عدد كبير جدا من صفات الألوان ، ولكن ذلك هو المجال الوحيد تقريبا من الكيفيات الذى يمكننا أن نجد له العديد من الصفات . أما فيما يتعلق بمعظم المقادير فى الفيزياء ، فلن نجد سوى أقل القليل من الصفات المعبر عنها فى لغة كيفية . ومن ثم يصبح القانون المعبر عنه فى لغة كمية أقصر ، وابسط كثيرا من التعبيرات المرهقة التى يمكن أن نتزود بها إذا ما حاولنا أن نعبر عن نفس القانون بألفاظ كيفية . وبدلا من صياغة معادلة واحدة بسيطة وموجزة ، سوف نضطر إلى صياغة العديد من قضايا " إذا .. إذن " يتألف كل منها من محمول فئة مع محمول فئة أخرى .

ومع ذلك فإن الميزة الكبرى للقانون الكمى ، ليست فى كونه موجزا ، ولكن فى كونه سهل الاستخدام . فما أن يكون لدينا قانون فى صيغة عددية ، حتى يمكننا أن نستخدم ذلك الجزء القوى من المنطق الاستنباطى الذى نسميه رياضيا ، وبهذه الطريقة نتمكن من عمل تنبؤات . وبالطبع يمكن للمنطق الاستنباطى ، فى حالة اللغة الكيفية أن يستخدم لعمل تنبؤات أيضا ، كأن نستنبط من المقدمة " هذا الجسم الساخن جدا جدا جدا " التنبؤ " هذا الجسم أحمر ساطع " ، ولكن هذا الاجراء مرهق جدا بالمقارنة بطرق الاستنباط القوية والملائمة التى هى جزء من الرياضيات .

هذه هى إذن الميزة الكبرى للمنهج الكمى . فهو يسمح لنا بأن نعبر عن القوانين فى صيغة تستخدم الدوال الرياضية التى يمكننا ، عن طريقها ، أن نقوم بعمل تنبؤات أكثر كفاية وإحكام .

لاشك أن هذه الفوائد عظيمة إلى الدرجة التى لايمكن لأحد أن يفكر فى اقتراح يدعو فيه أن تتخلى الفيزياء عن اللغة الكمية والعودة إلى اللغة الكيفية قبل العلمية . ومع ذلك ففى الأيام المبكرة للعلم ، عندما كان جاليليو يحسب السرعات التى تسقط بها الكرات على أسطح مستوية مائلة أو دورات بندول ، كان هناك من يتساءل : " ما هى الفائدة التى تعود علينا من كل هذا ؟ وكيف يساعدنا ذلك فى الحياة اليومية ؟ ما أهمية أن نعرف ما يحدث للاجسام عند سقوطها فى مسار ما ، صحيح أنه فى بعض الأحيان ، عندما انزع قشرة بسلة ، فهى تسقط من على منضدة مائلة ، ولكن ما قيمة حساب تسارعها الدقيق ؟ وما هو الاستخدام العلمى الذى يمكن أن يعود علينا من مثل هذه المعرفة المكتسبة ؟ " .

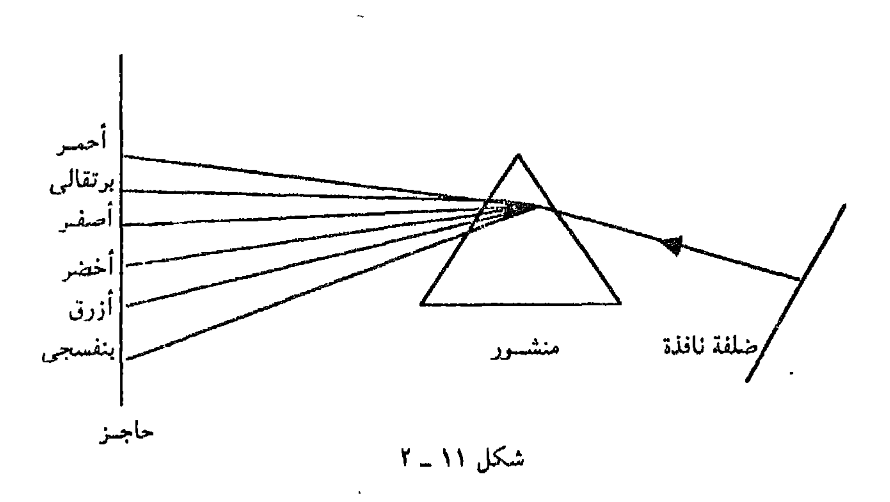
واليوم ، لا نجد من يتحدث بمثل هذه الطريقة ، لأننا جميعا نستخدم عشرات الأدوات المعقدة

ـ سيارة ، ثلاجة ، جهاز تلفاز ـ ونعلم علم اليقين أنها لم تكن ممكنة إذا لم تتطور الفيزياء بوصفها علما كميا . ولقد تبنى صديق لى يوما ما اتجاها فلسفيا يرى فى تطور العلم الكمى أنه شئ يؤسف له ، لأنه يؤدى إلى آلية الحياة . وكان ردى على هذا هو ، أنه إذا أراد أن يتمسك بهذا الاتجاه عليه ألا يستخدم أبدا طائرة أو سيارة أو هاتفا حتى يكون متوافقا مع نفسه . لأن التخلى عن العلم الكمى يعنى التخلى عن جميع تلك الاختراعات التى أتت بها التكنولوجيا الحديثة . واعتقد أن القليـــل من الناس هم الذين يرغبون فى ذلك .

وعند هذه النقطة نعرض لانتقاد آخر يوجة إلى المنهج الكمى ، وهو يختلف عما سبقة إلى حد ما ، لأنه يتعلق بطريقة فهمنا للطبيعة . فهل من الصحيح أن هذا المنهج يساعدنا على فهم الطبيعـــة ؟ إنه يمكننا بالطبع من وصف الظواهر فى حدود رياضية ، والقيام بعمل تنبؤات ، واختراع آلات معقدة . ولكن أليس ثمة وسائل أفضل نحصل عن طريقها على معرفة حقيقيـة بأسرار الطبيعة ؟ ألا يمكن أن نصل إلى كنه الطبيعة عن طريق المعرفة المباشرة ، أى عن طريق الحدس ؟ أثارت مثل هذه التساؤلات أعظم شعراء الألمان ، وهو جوته Goethe بغية انتقاد المنهج الكمى . وربما يعرف عنه القارئ أنه كاتب دراما وشعر فقط ، ولكن الحقيقة أنه كان كثير الاهتمام بنواح معينة من العلم ، وبصفة خاصة البيولوجيا ونظرية الألوان . ولقد ألف كتابا ضخما عن نظرية الألوان . وكان يعتقد فى ذلك الوقت أن هذا الكتاب أكثر اهمية من جميع أعماله الشعرية كلها .

ويتناول الجانب الأعظم من كتاب جوته التأثيرات السيكلوجية للألوان ، وقد قدمه بشكل نسقى رائع ، وكان فى الحقيقة مثيرا للغاية . فلقد كان جوته شديد الحساسية فيما يتعلق بتجاربه ، ولهذا السبب ، كان مؤهلا تماما لمناقشة كيفية تأثر أمزجتنا بالألوان المحيطة بنا . إن أقل الذين يعملون بالزخرفة شأنا يعرفون بالطبع هذه التأثيرات ، إذ أن اللون الأصفر والأحمر يعدان منبهين جيدا ، كما أن الألوان الخضراء والزرقاء لها تأثير هادئ . وعندما نختار الألوان لحجرات النوم أو المعيشة فاننا نحتفظ فى ذهننا بتلك التأثيرات السكلوجية . ولقد تناول كتاب جوته أيضا النظرية الفيزيائية للون ، ناقش خلالها النظريات السابقة للون من منظور تاريخى ، وتوقف بصفة خاصة عند نظرية نيوتن . ولم يتفق من حيث المبدأ مع تناول نيوتن بشكل كامل . إذ أنه قد اقتنع بأن ظواهر الضوء فى كل أشكاله ، وبصفة خاصة فى اشكاله اللونية ، ينبغى ملاحظتها فقط تحت أكثر الشروط طبيعية . وكان عمله فى البيولوجيا قد أدى به إلى أن يستنتج أنه إذا أردت أن تكشف عن ميزة حقيقية لشجرة بلوط أو ثعلب ، فما عليك إلا أن

تلاحظ الشجرة والثعلب في بيئتهما الطبيعية . ولقد نقل جوته هذه الفكرة إلى الفيزياء . فإذا أراد شخص ما أن يشاهد عاصفة رعدية ، فإن أفضل شئ يفعله هو أن يخرج أثناء العاصفة الرعدية وينظر إلى السماء ، ويفعل نفس الشئ مع الضوء والألوان . فلابد للمرء أن يشاهدهما وهما يحدثان في الطبيعة . أن يرى الطريقة التي يتخلل بها الضوء الشمس السحاب ، وكيف تتغير ألوان السماء عندما تغرب الشمس . طبق جوته هذه الطريقة ، ووجد انتظامات معينة ، ولكنه عندما قرأ كتاب نيوتن المشهور " البصريات " Optics وأطلع على تقرير نيوتن بأن الضوء الأبيض الصادر عن الشمس إنما هو مركب من جميع ألوان الطيف ، أعلن سخطه الشديد على نيوتن . لماذا كان جوته ساخطا ؟ لأن نيوتن لم يشاهد الضوء في ظروف طبيعية ، وإنما أجرى تجربته الشهيرة وهو قابع في منزله وفي حوزته منشور . فلقد اظلم معمله وقطع شقا طوليا في مصراع النافذة ( انظر الشكل ١١ ـ ٢ ) بحيث لايسمح هذا الشق الضيق الا بدخول شعاع بسيط من ضوء الشمس في الحجرة . ولقد لاحظ نيوتن أنه عند مرور هذا الشعاع من




شكل ١١ ـ ٢

خلال منشور فأنه يلقى على الحاجز بعدد من الألوان المختلفة التي تقع ما بين الأحمر والبنفسج ، وأطلق على هذا الانموذج اسم الطيف Spectrum . وبقياس زوايا الانكسار على المنشور ، استنتج اختلاف هذه الزوايا بالنسبة لاختلاف الألوان ، فكان أقلها للأحمر وأكبرها للبنفسجي . وقاده هذا إلى الافتراض بأن المنشور لم ينتج الألوان ، وإنما هو مجرد مفرّق للألوان المتضمنة في الشعاع الأصلي لضوء الشمس ، وقام باثبات هذا الافتراض عن طريق تجارب أخرى .

وجه جوته العديد من الاعتراضات لفهم نيوتن العام للفيزياء ، واتخذ هذه التجربة مثالا

واضحا لاعتراضاته . فقد أعلن أننا إذا حاولنا فهم الطبيعة ، فلابد أن نثق أكثر بالانطباع اللحظى الذى تستقبله حواسنا ، وليس بالتحليل النظرى . لأن اللون الأبيض يبدو لنا بوصفه لونا بسيطا تماما ، أنه عديم اللون ، وينبغى أن نقبله كذلك ، ولانستحضره بوصفه مؤلفا من عدة ألوان . كما رأى جوته أيضا أنه من الخطأ أن ننظر إلى ظاهرة طبيعية ، كضوء الشمس مثلا ، تحت شروط اصطناعية تجريبية . فان أردت أن تفهم ضوء الشمس ، فلا ينبغى عليك أن تظلم حجرتك ، ولا تسمح الا بشعاع ضوء بسيط يتخلل من ضلفة ضيقة ، وإنما ينبغى أن تخرج تحت سماء مكشوفة ، وأن تتأمل كل الظواهر اللونية الأخاذة كما تبدو لك فى أوضاعها الطبيعية . وأخيرا كان جوته متشككا من جدوى المنهج الكمى . فهو قد سلم بأننا إذا كنا بصدد اجراء قياسات دقيقة للزوايا أو المسافات أو السرعات أو الأوزان .. الخ وقمنا عندئذ باجراء حسابات رياضية تعتمد على نتائج هذه القياسات ، فربما يكون هذا مفيدا لأغراض تقنية بحتة . أما الذى تشكك فيه فهو ما إذا كانت هذه هى الطريقة المثلى لبلوغ الهدف الذى نسعى إليه ، ألا وهو الرغبة فى اكتساب تبصر حقيقى لمجريات الطبيعة . الحقيقة أن موقفنا الحالى من المناقشة التى كانت دائرة بين المنهج النيوتونى التحليلى ـ التجريبى الكمى ، وبين اطروحة جوته الخاصة بالحدس الكيفى الفينومينولوجى المباشر هو أن طريقة جوته لم تنتصر فى الفيزياء فحسب ، وإنما هى تحرز انتصارات أخرى فى مجالات متعددة من العلم ، وتكتسب كل يوم أرضا جديدة حتى فى نطاق العلوم الاجتماعية . كما أن من الواضح اليوم أن التقدم العظيم الذى أحرزته الفيزياء بصفة خاصة فى القرون الأخيرة ، لم يكن له أن يتحقق دون استخدام المناهج الكمية .

ومن ناحية أخرى ، لا يمكننا أن نغفل القيمة الكبرى للمنهج الحدسى الذى قال به جوته والذى أدى إلى اكتشافات جديدة ، وتطوير نظريات حديثة خاصة فى مجالات المعرفة الحديثة نسبيا . كما أن طريقة جوته الخاصة بالتخيل الفنى المرتبط بالملاحظة الحذرة جعلته يكتشف

حقائق جديدة هامة فى المورفولوجيا (١) المقارنة للكائنات النباتية والحيوانية . وكانت بعض هذه الاكتشافات بمثابة مقدمة لا غنى عنها فى توجيه نظرية التطور لداروين ( ولقد شرح هذا الفيزيائى والفسيولوجى الالمانى العظيم هيرمان فون هيلمهولتز H.V. Helmholtz فى محاضرة ألقاها عام ١٨٥٣ بعنوان حول دراسات جوته العلمية . ولقد اثنى هيلمهولتز بشدة على عمل جوته فى البيولوجيا ، ولكنه انتقد نظريته فى الألوان . وفى ملحق للمحاضرة ظهر عام ١٨٧٥ ، بين أن بعض افتراضات جوته قد تم اثباتها فى ذلك الوقت عن طريق نظرية داروين ) .

وربما يكون من المثير أيضا أن نذكر أنه فى منتصف القرن الماضى ، كتب الفيلسوف ارثر

شوبنهور Arthur Schopenhauer مقالة قصيرة عن الرؤية والألوان ، اتخذ فيها موقفا مؤيدا لجوته وجعله على صواب دائما ، أما نيوتن فقد جعله خاطئا تماما وذلك فى جدالهما التاريخى . وأدان شوبنهور ليس فقط تطبيق الرياضيات على العلم ، وإنما أيضا تكنيك البراهين الرياضية ، وأطلق عليها اسم " براهين مصيدة الفئران " . ولقد ذكر كمثال لذلك البرهان الخاص بنظرية فيثاغورس المألوفة . فذهب إلى أن هذا البرهان صحيح ، وليس فى مقدور أى شخص أن يكذبه ويعلن خطأه . ولكن الطريقة التى يتم بها التعليل فى هذا البرهان ، إنما هى طريقة اصطناعية تماما ، فأنت تنقاد خطوة خطوة بقناعة تامة ، وعندما تصل إلى نتيجة البرهان يداهمك احساس بأنك قد وقعت فى مصيدة فئران . فالرياضى يضطرك إلى التسليم بصحة نظريته ، ولكنه يفشل فى اكسابك أى فهم حقيقى ، فتكون كما لو أنك قد انقدت إلى متاهة بخطى واسعة ، وتغمغم لنفسك قائلا : " نعم ، أنا هنا ، ولكننى لا أعرف حقيقة كيف أتيت " وفيما يتعلق بتعلم الرياضيات ، فان وجهة النظر هذه تدعونا إلى أن نولى اهتماما أكبر للفهم الحدسى ، لما نفعله فى كل خطوة من خطوات البرهان الرياضى ، ولماذا اتبعنا تلك الخطوات دون غيرها ، ويتم ذلك كله بطريقة من الطرق .

وحتى نتمكن من اعطاء اجابة واضحة عن السؤال الذى يتعلق بحقيقة فقدنا لشئ ما عند وصفنا للعالم عن طريق الاعداد ، كما يعتقد بعض الفلاسفة ، فاننا ينبغى أن نميز بوضوح بين موقفين لغويين : لغة تهمل بالفعل كيفيات معينة لموضوعات نقوم بوصفها ، ولغة يبدو أنها تهمل كيفيات معينة ، ولكنها لاتفعل ذلك بالفعل . وأننى لعلى يقين من أن كثيرا من الاضطراب الذى يحدث فى تفكير هؤلاء الفلاسفة ، إنما هو نتيجة مباشرة لفشلهم فى عقد هذا التمييز .

و" اللغة " تستخدم هنا بمعنى واسع على غير العادة ، إذ أنها تشير إلى أى منهج عن طريقه يتم نقل أى معلومة عن العالم ـ بالكلمات ، بالصور ، بالرسوم البيانية .. الخ . ودعنا نفترض الآن لغة تهمل مظاهر معينة من الموضوعات التى تقوم بوصفها . افترض أنك ترى فى مجلة صورة لحى مانهاتن مأخوذة بالأبيض والأسود ، ووجدت تحتها هذا التعليق : " صورة ظلية لمبانى نيويورك ، صورت من الغرب " . الحقيقة أن هذه الصورة تنقل لك معلومة عن نيويورك فى لغة صورة فوتوغرافية بالأبيض والأسود ، وعن طريقها تعلم شيئا ما عن أحجام وأشكال المبانى . والصورة شبيهة بالانطباع المرئى المباشر الذى يمكنك أن تستشعره إذا وقفت حيث تقف الكاميرا ونظرت إلى نيويورك . وذلك بالطبع ، هو ماتفهمه فى الحال من الصورة ، فهى ليست

لغة بالمعنى العادى للكلمة ، وإنما هى لغة بالمعنى العمومى الأكثر الذى يغطى معلومة ، ومع ذلك فان هذه الصورة تفتقر إلى مجموعة من الأشياء . أولها أنها لاتعطى بعدا للعمق ، كما أنها لاتخبرنا بشئ عن ألوان المبانى . ولايعنى هذا أنك لا يمكنك أن تجرى استدلالات صحيحة عن العمق واللون .لأنك إذا رأيت صورة لثمرة الكرز مأخوذة بالأبيض والأسود ، فإنك تفترض أن ثمرة الكرز ربما كانت حمراء اللون . ولكن هذا مجرد استدلال ، لأن الصورة نفسها لاتنقل لون ثمرة الكرز .

والآن دعنا نعود إلى الموقف الذى تبدو فيه الكيفيات وكأنها بلا لغة ، وهى فى الحقيقة ليست كذلك ، افترض انك ترى لأول مرة صحيفة موسيقية فيها مجموعة من العلامات الموسيقية ، ربما تتساءل كطفل ، قائلا : " ماهذه الأشياء الغريبة التى أراها هنا ؟ اننى أرى خمسة خطوط مستقيمة مرسومة بعرض الصحيفة . وهذه الخطوط مغطاة ببقع سوداء ، ولبعض هذه البقع ذيول " .

ويقال لك : " إنما هذه هى الموسيقى . وكما ترى انها متسعة الأصوات بشكل جميل جدا " .

وتحتج قائلا : " ولكننى لا أسمع أى موسيقى " .

والحقيقة أن هذه المجموعة من العلامات لم تنقل اتساق الأصوات بنفس الطريقة التى ينقلها لك الحاكى " الفونوغراف " مثلا . إذ انك لم تسمع شيئا ، وبمعنى آخر فان مجموعة العلامات لم تنقل درجة النغم ودوام كل نغمة بالطريقة التى يعرف معناها الطفل . وحتى بالنسبة للبالغ ، لايظهر اتساق الأصوات إلا بعد أن يكون قد عزفها على بيانو أو سأل شخصا ما أن يعزفها له ، ومع ذلك ، فليس ثمة شك فى أن أنغام الأصوات متضمنة فى مجموعة العلامات الموسيقية ، وأننا نحتاج بالطبع إلى مفتاح لنقل هذه العلامات وتحويلها إلى أصوات . وهذا المفتاح ما هو إلا القواعد التى تحدد لنا كيفية نقل هذه العلامات إلى أصوات . فإذا كانت هذه القواعد معروفة لدينا ، لأمكننا أن نتبين بسهولة تغير الكيفيات التى تبدو عليها الأنغام ، ودرجة النغم ، ودوامه ، بل وحدّته ، وهى كلها متضمنة فى مجموعة العلامات . وربما كان فى امكان موسيقى مدرب أن يقطّع الأنغام ، " ويسمع " الأصوات فى عقله فى الحال . ومن الواضح أن لدينا هنا موقفا لغويا ، يختلف تماما عن ذلك المتعلق بالصورة الفوتوغرافية أبيض وأسود . لأن الصورة تفتقر إلى الألوان بالفعل ، أما مجموعة العلامات الموسيقية فيبدو أنها تفتقر إلى الانغام ، ولكنها ليست كذلك بالفعل .

أما فى حالة اللغة المعتادة ، اعتدنا على الكلمات ، وغالبا ما ننسى أنها ليست علامات

طبيعية . فإذا سمعت كلمة " أزرق " ، فانك تتخيل فى الحال اللون الأزرق . وتكون انطباعا ، كالأطفال تماما ، بأن كلمات اللون فى لغتنا لا تنقل اللون بالفعل . ومن ناحية أخرى إذا قرأنا عبارة قال بها فيزيائى بأن هناك تذبذبا كهرومغناطيسيا معينا ذا شدة وتردد معينين ، فلن نتخيل فى الحال اللون الذى يصفه لنا . ومع ذلك إذا عرفت مفتاح التحويل ـ الذى تحدثنا عنه ـ فانك تستطيع أن تحدد اللون بنفس الدقة ، وربما بدقة أكبر مما لو سمعت كلمة اللون . فأنت إذا لم تتعامل بنفسك مع المطياف ( منظار التحليل الطيفي ) ، لكان عليك أن تعرف عن طريق القلب أى الألوان التى تنطبق على أى الترددات . وفى تلك الحالة ربما تدلك عبارة الفيزيائى وفى الحال أنه كان يتحدث عن اللون الأزرق المخضر .

وقد يرسم مفتاح النقل بوسائل عديدة مختلفة . إذ يمكن مثلا رسم معدل التردد الطيفى المرئى على خريطة ، وتنطبق ، فى الغالب ، كلمة اللون الانجليزية بدقة على كل تردد مكتوب بعدها ، أو ربما تكون الخريطة ـ بدلا من كلمات اللون ـ عبارة عن مربعات صغيرة تشتمل على الألوان الفعلية . فى كل من الحالتين ، يمكنك أن تستدل ، بمساعدة المفتاح ، وبدقة على اللون الذى يصفه ، وذلك عندما تسمع عبارة الفيزيائى الكمية . إذن الكيفية فى حالة اللون ، لاتفقد مطلقا عن طريق منهج النقل . والموقف هنا مماثل لمجموعة العلامات الموسيقية ، إذ أن هناك مفتاحا لتحديد تلك الكيفيات ، التى تبدو من الوهلة الأولى ، كما لو أنها محذوفة من مجموعة العلامات . وهى ليست مماثلة للصورة الفوتوغرافية ـ أبيض أسود ـ التى تكون فيها الكيفيات المعينة محذوفة بالفعل .

وهكذا يبدو أن فوائد اللغة الكمية واضحة إلى الدرجة التى تجعلنا نتعجب من أن العديد من الفلاسفة قد انتقدوا استعمالها فى العلم . وفى الفصل الثانى عشر سوف نناقش بعضا من الأسباب التى حدت بهؤلاء إلى الأخذ بهذا الاتجاه الغريب .

***

### هوامش

(١) فرع من علم الاحياء يبحث فى شكل الحيوانات والنباتات وبنيتها . ( المترجم )

## □ الفصل الثانى عشر □

# النظرة السحرية للغة

لدى انطباع قوى بأن واحدة من الأسباب التى جعلت بعض الفلاسفة يعترضون على التقرير بأن العلم يعتمد على اللغة الكمية ، هى أن علاقتنا السيكولوجية بكلمات اللغة قبل العلمية ـ تلك الكلمات التى سبق أن تعلمناها عندما كنا أطفالا ـ تختلف تماما عن علاقتنا السيكلوجية بتلك الأرقام المعقدة التى دلفت أخيرا إلى لغة الفيزياء ـ ومن السهل أن ندرك كيف يمكن للأطفال أن يعتقدوا فى كلمات معينة بأنها تحمل بالفعل منطوقها ، والكيفيات التى تشير اليها . ولست راغبا فى أن أكون غير منصف لفلاسفة معينين ، ولكن يداخلنى شك فى أن هؤلاء الفلاسفة إنما يقعون أحيانا فى نفس الخطأ الذى يقع فيه الأطفال دائما فيما يتعلق بردود أفعالهم تجاه الكلمات والرموز العلمية .

وفى الكتاب المشهور الذى قام بتأليفه كل من س . ك أوجـدن C.K. Ogden و ى . أ ريتشاردز I. A. Richards معنى المعنى " The Meaning of Meaning " ، نجد أمثلة ممتازة ، وبعضها طريف للغاية ، لما يطلق عليه المؤلفان اسم " سحر الكلمة " . إذ أن للعديد من الناس نظرة سحرية للغة ، وهى تلك النظرة التى ترى أن هناك ارتباطا من نوع ما ـ طبيعيا وخفيا ـ بين كلمات معينة ( وهى بالطبع الكلمات التى تكون مألوفة فقط ) ومعانيها . والحقيقة أن المصادفة التاريخية وحدها ، فى مسار تطور ثقافتنا ، هى التى جعلت لكلمة " أزرق " معنى لونيا معينا . ففى الالمانية ينطبق هذا اللون " blau " ، وفى لغات أخرى نجد أصواتا أخرى مرتبطة به . ومن الطبيعى بالنسبة للأطفال الذين اعتادوا على كلمة " أزرق " فى لغتهم الأصلية ، أن يعتقدوا أنها كلمة طبيعية ، فى حين أن الكلمات الأخرى لها تعد خاطئة تماما أو هى غريبة بالتأكيد . ولكن عندما يشبون عن الطوق ، يصبحون اكثر تسامحا ، ويقولون : " ربما يستخدم الناس الآخرون الكلمة " blau " ، ولكنهم يستخدمونها ليعنرا بها شيئا هو أزرق بالفعل " . أما بالنسبة للطفل الصغير فالمنزل هو المنزل ، والوردة هى الوردة ، ولاشـىء غير ذلك .

وبعد ذلك يتعلم أن الناس الغرباء فى فرنسا يسمون المنزل " a maison " وإذا تساءل عن الداعى الذى جعلهم يقولون " maison " بدلا من منزل . سيقال له أنها العادة التى جعلتهم يقولون عن المنزل فى فرنسا " maison " فقد رددها الفرنسيون مئات من السنين ، ولاينبغى أن يلومهم على ذلك أو يعتقد فى أنهم أغبياء . ويتقبل الطفل أخيرا هذا التعليل ، ويرى أن للناس الغرباء حقا عادات غريبة . إذن فليستخدموا كلمة " maison " ليعنوا بها تلك الاشياء التى هى منازل بالفعل . ويبدو أنه من العسير بالنسبة للعديد من البالغين ، كما هو بالنسبة إلى الأطفال ، التملص من هذا الاتجاه المتسامح ، واكتساب البصيرة بأنه ليس ثمة أى ارتباط أساسى بين الكلمة وما نعنيه بها . وبالطبع لن يصرحوا أبدا بأن الكلمة فى اللغة الانجليزية هى الصحيحة ، بينما الكلمات فى اللغات الأخرى خاطئة ، ولكن النظرة السحرية التى لازمتهم فى طفولتهم هى التى تظل كامنة فى تفكيرهم ، وفى الغالب ، فى ملاحظاتهم .

ويقتبس أوجدن وريتشاردز المثل الانجليزى الذى يقول :"-is rightly so cal The Divine led الالهى هو مايقال عنه ذلك بحق " . وهذا يعنى بوضوح أن الالهى الهى بشكل حقيقى ، ولذلك فان تسميته الهيا صواب تماما . وعلى الرغم من أن الشخص قد يكون لديه شعور بأن يقال عن شئ ما أنه كذلك بحق ، الا أن المثل لم يقل فى الحقيقة أى شئ على الاطلاق ، فمن الواضح أنه فارغ ، ومع ذلك يردده الناس دائما بانفعال قوى ، ويعتقدون أنه يعبر بالفعل عن نوع ما من البصيرة النفاذة فى طبيعة الإلهى .

وهناك مثال آخر أكثر تعقيدا يتعلق بالنظرة السحرية للغة ، نجده فى كتاب كورت ريزلر Kurt Riezler " الفيزياء والواقع " : محاضرات أرسطو فى الفيزياء الحديثة فى المؤتمر العالمى للعلم ، أو لمبياد ٦٧٩ بكمردج عام ١٩٤٠ ميلادية . يتخيل فيه المولف عودة أرسطو إلى الأرض فى عصرنا هذا ، ويعرض وجهة نظره التى هى وجهة نظر ريزلر أيضا ، واعتقد أنها نظرة ريزلر وحدها إلى العلم الحديث .

ويبدأ أرسطو بالثناء البالغ على العلم الحديث ، فهو معجب بانجازاته العظيمة غاية الاعجاب . وبعد ذلك يضيف قائلا أنه على الرغم من دواعى فخره العظيم به ، الا أن لديه أيضا ملاحظات طفيفة عليه . وهذه الملاحظات هى التى أثارت اهتمامنا هنا . ففى صفحة ٧٠ من كتاب ريزلر ، يقول أرسطو للفيزيائيين المجتمعين : " إذا كان اليوم باردا بالنسبة للزنجى ، وحارا بالنسبة لأحد الاسكيمو ، فانك لا تستطيع حسم الخلاف بينهما الا إذا قرأت على

الترمومتر الخاص بك الدرجة ٥٠ المئوية " .

مايريد أن يقوله ريزلر هنا ، هو أننا لا نتفق فى لغة الحياة اليومية الكيفية على كلمات مثل " حار " و " بارد " . فإذا وصل أحد الاسكيمو من جرينلاند إلى البقعة التى تكون عليها درجة الحرارة ٥٠ ، فانه سوف يقول : " إن هذا اليوم حار نوعا " . أما الزنجى الذى يصل من أفريقيا إلى نفس البقعة فانه سوف يقول : " أنه يوم بارد " . ولم يتفق الرجلان على معنى " حار " و " بارد " ، ويتخيل ريزلر فيزيائى يقول لهما : " دعونا ننسى هاتين الكلمتين ، ونتحدث بدلا من ذلك عن درجة الحرارة ، ونتفق جميعا على أن درجة الحرارة اليوم هى ٥٠ درجة ، عندئذ يمكنكما أن تتوصلا إلى اتفاق " .

ويستمر الاقتباس :

" لاشك أنك فخور بأنك عثرت على حقيقة موضوعية ، وذلك بالتخلص من ... "

وأنني لأسأل القارئ أن يخمن بنفسه فيما يعتقد ريزلر أن الفيزيائيين قد تخلصوا منه . لابد أننا نتوقع استمرار العبارة على هذا النحو : " ... بالتخلص من كلمتى " حار " و " بارد " . " لأن الفيزيائى لا يتخلص منهما الا بغرض استخدام اللغة الكمية وحدها فى الفيزياء . ولكن مع ذلك تظل لغة الحياة اليومية الكيفية مرغوبا فيها ، فهى ضرورية حقا ، حتى بالنسبة للفيزيائى الذى يستخدمها لكى يصف ما يراه . ولكن ريزلر لايستمر فى قول ما نتوقعه ، وإنما تستمر عبارته فى القول : " ... بالتخلص من كل من الزنجى والاسكيمو . "

وعندما قرأت هذه العبارة لأول مرة ، اعتقدت أنه يقصد من ذلك أن على الفيزيائى أن يتخلص من الطريقة التى يتحدث بها الزنجى والاسكيمو ، ولكن الأمر لم يكن على هذا النحو ، وإنما كان ريزلر يعنى ما هو أعمق من ذلك . كان يعنى أن العلم الحديث ـ من وجهة نظره ـ قد تخلص نهائيا من الإنسان . وأنه قد تناسى وأهمل كل الجوانب شديدة الأهمية ، المتعلقة بالمعرفة الإنسانية ـ بالإنسان نفسه . فنراه يكتب :

> " لاشك أنك فخور بأنك عثرت على حقيقة موضوعية ، وذلك بالتخلص من كل من الزنجى والاسكيمو . وأننى لأسلم بأهمية ما قد أنجزته . وأسلم أيضا بأنك لم يكن فى مقدورك أن تشيد آلاتك المدهشة دون التخلص من كل من الزنجى والاسكيمو . ولكن ماذا عن الواقع والحقيقة ؟ انك

> تماثل بين الحقيقة واليقين . ولكن الواضح أن الحقيقـة ترتبـط بالوجـود ، أو قل " بالواقع " . قد تكون للحقيقة درجة عالية مـن اليقين ، كالحقيقـة فـى الرياضيـات . ولكن صلتها بالواقع منخفضة جدا . ومـــاذا عن درجـــة حرارتك الـ ٥٠ ؟ لأنها صادقة بالنسبة لكل من الزنجى والاسكيمو ، تطلـق عليها اسم الحقيقة الموضوعية . أما بالنسبة لى فإن حقيقتك الموضوعية هذه تبدو بائسة وهزيلة إلى أبعد حد . فهـى ليست سـوى علاقـة ارتبـاط بين درجة الحرارة وتمدد زئبقـك ، ولا علاقة البتـة لهـذه الحقيقـة بالزنجـى أو الاسكيمـو . فهى لا تتعلق بشئ سوى بملاحظ مجهول " . ويكتـب أخيرا : " لابد أنك تدرك تماما أن الحرارة والبـــرودة ٥٠ درجـة تتعلـق بالزنجى أو الاسكيمو " .

ولست متأكدا تماما ما يعنيه بقوله هذا ، ربما يعنى إنه إذا كان الزنجى والاسكيمو يفهمان ما تعنيه الدرجة ٥٠ لوجب أن تفسر لهما بمصطلحين " الحار " و " البارد " .

وتقول أن النظام الذى يخضع للملاحظة فى حاجة إلى تضخيمه ليشمل الحوادث الفيزيائية التى تقع لكل من الزنجى أو الاسكيمو .

ويتضح هذا الكلام من رد الفيزيائى على هذه التهمة : " هل نغفل احساسات الحرارة والبرودة التى يشعر بها كل من الزنجى والاسكيمو ؟ " ويبدو أن ريزلر يعتقد بأن الفيزيائى قد يجيب على هذا السؤال بشئ شبيه بهذا : " كلا إننا لا نغفل الاحساسات ، ولكننا نصف أيضا الزنجى ذاته والاسكيمو ذاته بوصفهما كائنات عضوية إننا نحللهما بوصفهما نظامين فيزيائيين ، فسيولوجيين وفيزيائيين . ونكشف ما يحدث بداخلهما ، وبهذه الطريقة نتمكن من تفسير لماذا تختلف تجربة الاحساسات التى تؤدى بهما إلى وصف نفس اليوم بأنه " حار " و " بارد " . " وتستمر الصفحة :

> " ذلك أنك تواجه بنظامين ، تدرج درجة الحرارة فيهما يكون معكوسا : البارد فى نظـام والدافـئ فى نظـام آخر . ومع ذلك فإن هذا البـــارد والدافئ لم يعودا كذلك . إذ أنك مثلت الزنجى والاسكيمو فى نظامـــك بحوادث فيزيائية أو كيميائية معقدة ، وهما ليسا كائنات فى حد ذاتهما

وإنما هما كما هما بالنسبة للملاحظ مجهول ، مركب من حوادث يمكن وصفها بعلاقات بين كميات يمكن قياسها . وأنني لأشعر أن الزنجي والاسكيمو ممثلان فى وصفك بشكل هزيل إلى حد ما . لأنك تلقى بالمسئولية على عاتق التعقيدات الضخمة التى تدخل فى مثل هذا النظام "
ويشير ريزلر هنا إلى النظام الانسانى ، إلى العضوية الكاملة التى إذا حاولنا أن نحللها فيزيائيا ، لواجهتنا صعوبات لا حد لها .
ويستطرد قائلا :
" كلا ياسادة ، انكم ترتبون الرموز كما تشاءون ، ولكنكم تخفقون فى وصف البارد على أنه بارد والحار على أنه حار . "

وأخيرا وليس آخرا ، يظهر هنا شك بسيط فى سحر الكلمات ! إن الفيزيائى يرتب رموزا اصطناعية لا تحمل فى طياتها أى حقيقة عن الكيفيات ، وذلك لسوء الحظ بسبب عدم قدرة الفيزيائى على وصف البارد على أنه بارد . أما إذا نقل لنا الأحساس الحقيقى بالبرودة ، فاننا سوف نرتجف جميعا متخيلين البرودة الحقة . أما إذا قال : " كان الجو بالأمس حارا بشكل رهيب " . فسوف يعطينا احساسا حقيقيا بالحرارة . هذا هو تفسيرى لما يقول به ريزلر . أما إذا رغب القارئ فى أن يقدم تفسيرا أفضل فليتقدم به .

وهناك فى موضع لاحق ( فى ص ٧٢ ) تصريح هام لأرسطو كما تصوره ريزلر : " دعنى أعود إلى النقطة التى كنت أناقشها . إن الحقيقة إنما هى حقيقة الجواهر . وأنت لا تعرف الجواهر التى تكمن خلف ترمومترك الذى يشير إلى الدرجة ٥٠ ، ولكنك تعرف المثيل لكل من الزنجى والاسكيمو .. " .

ويقصد ريزلر " بأنك تعرف المثيل لكل من الزنجى والاسكيمو " أنهما ينتميان إلى الجنس البشرى . ولأنك انسان ، فلابد أنك تتقاسم معهما الاحساسات المشتركة .

" ... أسألهما ، أسألوا أنفكسم ، أسألوا آلامكم وسروركم ، فعاليتكم وتأثيركم . هنالك تعرفون معنى الحقيقة ، معنى أن توجد الأشياء متعينة . هنالك تعرفون أنها توجد حقا " .

إنه يعتقد أن الحقيقة الحقة يمكن التوصل إليها فقط عندما نتحدث عن الألم والفرح الشديد ،

عن الساخن والبارد . وطالما أننا نركن إلى رموز الفيزياء ، ودرجة الحرارة وما إلى ذلك ، فإن الحقيقة تتلاشى . هذا هو حكم ريزلر . وأننى لمقتنع بأنه ليس حكما أرسطيا . إذ أن أرسطو كان واحدا من أعظم الرجال فى تاريخ الفكر . وفيما يتعلق بالعلم ، كانت له منزلة رفيعة فى عصره . بل إنه أجرى بنفسه ملاحظات وتجارب امبيريقية . وإذا قدر له أن يشهد تطور العلم من عصره إلى عصرنا ، فاننى لمتأكد بأنه سوف يكون شديد التحمس للطريقة العلمية فى التفكير والحديث ، وربما كان واحدا من رواد علماء اليوم . ومن ثم فاننى اعتقد بأن ريزلر إنما يظلم أرسطو كثيرا بنسبة هذه الآراء اليه .

ومن الممكن ، فيما أظن ، أن ريزلر يقصد من ذلك أن يقول فقط بأنه لاينبغى على العلم أن يركز فقط على المفاهيم الكمية ، ويهمل كل تلك المظاهر التى تبدو فى الطبيعة ، والتى لا تحتمــل أن تتحول إلى صياغات دقيقة عن طريق الرموز الرياضية . وإذا كان هذا هو كل مقصده ، إذن لكنا قد اتفقنا معه بالطبع . ففى مجال علم الجمال مثلا ، لم يحدث تقدم كبير فى تطور المفاهيم الكمية . ولكن يظل من الصعب دائما أن نقرر سلفا عدم جدوى ادخال القياس العددى فى هذا المجال ، وإنما ينبغى أن نترك هذا الأمر للمشتغلين به . فإذا ارتأوا وسيلة لعمل ذلك بشكل مفيد ، أدخلوه . أما أن نثبط الهمة ونصادر على محاولات لم تجر بعد ، فهذا ما لا ينبغى علينا فعله . فإذا كنا نستخدم اللغة لأغراض جمالية ـ وليس كمبحث علمى فى علم الجمال ، وإنما لادخال متعة جمالية فحسب ـ فاننا بالطبع لن نختلف حول عدم ملاءمة اللغة الكمية . كما أننا إذا أردنا أن نعبر عن احساساتنا تجاه صديق فى رسالة أو فى قصيدة من الشعر الغنائى ، فمن الطبيعى أن نختار لذلك لغة كيفية . لأننا فى حاجة إلى كلمات مألوفة لدينا بحيث يمكنها أن تستدعى فى الحال عددا من المعانى وتداعى الخواطر .

ومن الصحيح أيضا ، أننا نجد فى بعض الأحيان ، عالما يهمل أوجها هامة حتى من الظواهر التى يكتب عنها . وغالبا ما يحدث هذا بسبب مسألة تقسيم العمل بين العلماء . إذ أن المتخصص فى علم الأحياء يزاول عمله فى المعمل بشكل كامل . فنراه يفحص الخلايا تحت ميكروسكوب ، ويجرى تحليلات كيميائية ، وهكذا . أما بالنسبة إلى عالم آخر فى الأحياء فاننا نجده يخرج إلى الطبيعة ، يلاحظ كيف تنمو النباتات ، وتحت أى شروط تبنى الطيور العشش ، وهكذا . إذن لكل من الرجلين اهتمامات مختلفة ، ولكن المعرفة التى ينشدانها بوسائلها المختلفة ، إنما هى جزء من كل من العلم . ولاينبغى أن نفترض أن الآخر إنما يجرى عملا عديم الجدوى . وإذا كان مقصد ريزلر هو مجرد تحذيرنا من أن العلم ينبغى عليه أن يحترس من عدم

اهمال أشياء معينة ، إذن لايسعنا إلا أن نتفق معه . أما إذا كان مقصده هو القول ـ كما يبدو ذلك ـ بأن اللغة الكمية للعلم إنما تغفل بالفعل كيفيات معينة ، فانني اعتقد أنه خاطئ كل الخطأ .

دعنى اقتبس نقدا لكتاب ريزلر ، قال به ارنست ناجل E. , Nagel : " إن نظريات الفيزياء ليست بديلة عن الشمس والنجوم ، كما أنها ليست بديلة عن الانشطة المتعددة الجوانب للأشياء المادية المتعينة . ولكن لماذا يتوقع من أى شخص التحمس الشديد لمجرد خطاب ؟ " .

وكما ترى ، فان ناجل يفسر ريزلر بطريقة أقل تلطفا حتى مما قد حاولت أن أفعله وربما يكون على حق . فأنا لست متأكدا من ذلك تماما . ولكن ناجل يفهم ريزلر بوصفه ناقدا للغة الفيزياء ، وبوصفه داعيا إلى نقل كميات الألوان التى تشتمل عليها الصورة الملونة بشكل مباشر . أو بالمثل نقل المعلومة التى تتحدث عن الروائح عن طريق رش العطر نفسه ، أى باستحضار روائح فعلية ، وليس مجرد تسميتها . وربما يقصد ريزلر ـ كما يفهمه ناجل ـ أنه ينبغى على اللغة أن تنقل الكيفيات بهذا المعنى القوى ، أى باستحضارها . ويبدو أنه يعتقد أن كلمة " بارد " تحمل فى طياتها بشكل ما الكيفية الفعلية " للبرودة " . ومثل هذه الوجهة من النظر تعد مثالا بالتأكيد على النظرة السحرية للغة .

□ القسم الثالث □

# بنْية المكان

## الفصل الثالث عشر

# مصادرة التوازى لإقليدس

يعد موضوع طبيعة الهندسة فى الفيزياء على جانب عظيم من الاهمية فى فلسفة العلم ـ وبالمناسبة ـ فان لى اهتماما خاصا بهذا الموضوع ـ إذ أننى كتبت أطروحتى فى الدكتوراه فى هذا الموضوع ، وعلى الرغم من أننى منذ ذلك الحين لم أنشر سوى القليل عنه ، إلا أنه من الموضوعات التى جعلتنى دائم التفكير فى إنتاج الكثير حوله .

إذن ما هى الأهمية التى يحتلها ؟ أولا وقبل كل شئ ، نجده يتعامل مع تحليل نظام المكان ـ الزمان ، الذى يعد بناء أساسيا فى الفيزياء الحديثة . وبالإضافة إلى ذلك تعد الهندسة الرياضية والهندسة الفيزيائية نموذجين ممتازين لوسيلتين مختلفتين بشكل أساسى فى اكتساب المعرفة : القبلية والتجريبية . وإذا فهمنا بوضوح التمييز بين هاتين الهندستين ، لكانت لدينا بصيرة نفاذة ذات قيمة فى المشكلات المنهجية الهامة التى تطرحها نظرية المعرفة .

دعنا ندرس أولا طبيعة الهندسة الرياضية . إننا نعرف بالطبع أن الهندسة كانت واحدة من الانساق التى تطورت فى عصر مبكر جدا ، إلا أننا لا نعرف سوى القليل عن أصولها ومن المدهش حقا أن الهندسة فى عصر أقليدس كانت منظمة تنظيما جيدا ، وكانت السمة البديهية الاقليدية فى حد ذاتها ـ اشتقاق النظريات من بديهيات ومصادرات أساسية ـ تعد اسهاما عظيما على نحو لافت للنظر ، بحيث ظلت تلعب دورا رئيسيا فى معظم المناهج الحديثة التى وضعت أنساقا رياضية فى صياغة دقيقة . ووجه الدهشة هنا هو أن هذا الاجراء كان متبعا بالفعل فى عصر اقليدس . إلا أن واحدة من بديهيات اقليدس ، ألا وهى بديهية التوازى ، قد سببت للرياضيين قدرا كبيرا من الاضطراب ، وذلك لعدة قرون . ويمكننا أن نذكر هذه البديهية على النحو التالى : إذا رسمنا على أى سطح مستو الخط المستقيم ل ، ثم وضعنا النقطة م بحيث لاتكون على ل ، ثم رسمنا الخط المستقيم ل ١ بحيث يمر على النقطة م ، إذن لكان هناك خط واحد فقط يوازى الخط ل . ( وتعريف ذلك هو : يتوازى المستقيمان المرسومان على سطح مستو

إذا لم تجمعهما نقطة واحدة . )

ومع بداية القرن الماضى ، كانت هذه البديهة من الوضوح إلى الدرجة التى لم يكن أحد يشك فى صدقها على الاطلاق . أما الجدل الذى تركز حولها فلم يكن أبدا حول صدقها . وإنما كان يتركز حول هذا السؤال : هل من الضرورى أن تكون بديهة ؟ إنها تبدو أقل بساطة من بديهيات اقليدس الأخرى . ولقد اعتقد عدد من الرياضيين أنها ربما تكون مبرهنة تم استنباطها من بديهيات اقليدس الأخرى .

ولقد بذلت محاولات متعددة لاشتقاق بديهة التوازى من بديهيات أخرى ، وأعلن بعض الرياضيين أنهم نجحوا فى ذلك . إلا أننا نعلم اليوم أنهم كانوا مخطئين . إذ لم يكن من السهل فى ذلك العصر اكتشاف النقص الذى يكتنف كل هذه الاشتقاقات المقترحة ، لأنهم كانوا يعتمدون عادة ـ كما هو موجود فى مراجع الهندسة فى المدارس العليا ـ على الاحتكام إلى الحدس . فإذا رسمنا رسما بيانيا فانه لن يكون دقيقا أبدا ، وذلك باعتراف الجميع ، إذ أن الخطوط التى نرسمها لاتكون محكمة على الاطلاق . وذلك بسبب كثافة الطباشير على السبورة أو الحبر على الورق . ولكن الرسم البيانى يساعد خيالنا ، فهو يساعدنا على أن " نرى " صدق ما نرغب فى البرهنة عليه . ولقد وضع فلسفة الرؤية الحدسية هذه بشكل نسقى أفضل ، ايمانويل كانط . ومن ثم فان الصدق لا يعتمد على انطباعنا الحسى للرسم البيانى الفيزيائى ، وإنما هو يعتمد بالأحرى على حدسنا الداخلى للأشكال الهندسية التى لا يمكن أن تخطئ . ولقد كان كانط واضحا تماما فى هذا القول . إذ لاحظ كانط أنه لايمكن لأى فرد أن يتأكد من أن الخطين المنفصلين على السبورة متساويان ، أو أن الخط المرسوم بطباشير ويفترض أنه دائرة هو دائرة بالفعل . لأن مثل هذه الرسوم البيانية ، إنما هى مجرد عون سيكولوجى فقط . أما قدرتنا على التخيل ـ وهو ما أطلق عليها اسم " Anschauung " ، الحدس ـ فهى ضعيفة . ومن ثم تصبح الحقيقة يقينية تماما ليس عن طريق مشاهدتها بأعيننا بشكل مباشر وإنما إذا تمثلناها بوضوح فى عقلنا .

كيف يمكننا أن نحقق إذن القضية الكانطية التى تقرر أنه لايمكن أن يكون لخطين أكثر من نقطة واحدة مشتركة ؟ نرسم صورة للموقف فى عقلنا ، فنجد أنه يوجد خطان يتقاطعان هنا فى نقطة واحدة . فكيف يتقاطعان فى نقطة ما أخرى أيضا ؟ ومن الواضح أنهما لن يتقاطعا مرة أخرى ، لأنهما يتباعدان أكثر فأكثر كلما تحركنا بعيدا عن التقاطع . ويبدو من الواضح أيضا

أن لكلا الخطين نقاطهما المشتركة ( وذلك فى الحالة التى يصبحان فيها خطا واحدا ) أو أن يكون لهما فى معظم الحالات نقطة واحدة ، أو ربما لاتوجد أى نقطة مشتركة . إن هذه الحقائق الهندسية البسيطة التى قال بها كانط ، يمكننا أن نراها فى الحال . إذ أننا ندرك صدقها حدسا . والحقيقة التى تقرر عدم اعتمادنا على الرسوم البيانية قد أدت بكانط إلى أن يفترض امكان أن تكون لدينا ثقة كاملة فى الحقائق المدركة بهذه الطريقة الحدسية . وسوف نعود مرة أخرى إلى وجهة النظر هذه . إذ أننا نذكرها هنا فقط لكى تساعد القارئ على فهم الطريقة التى كان يفكر بها العلماء فى الهندسة مع بداية القرن التاسع عشر . وحتى إذا لم يتسن لهؤلاء العلماء قراءة كانط على الاطلاق ، لكانت لهم نفس وجهة نظره . وسواء أكانت وجهة نظرهم مأخوذة من كانط ، أو كانت مجرد جزء من المناخ الثقافى الذى جعله كانط أكثر وضوحا فان هذا لايهمنا . ولكن الذى يهمنا هو أن كل شخص قد افترض أن هناك حقائق أساسية فى الهندسة ، وأن هذه الحقائق من البساطة والوضوح بحيث لايمكن أن يتطرق اليها أدنى شك . وأنه يمكن لأى شخص عن طريق هذه الحقائق البسيطة ، التى هى بديهيات الهندسة ، أن يمضى خطوة خطوة إلى أن يصل إلى حقائق مشتقة معينة التى هى المبرهنات .

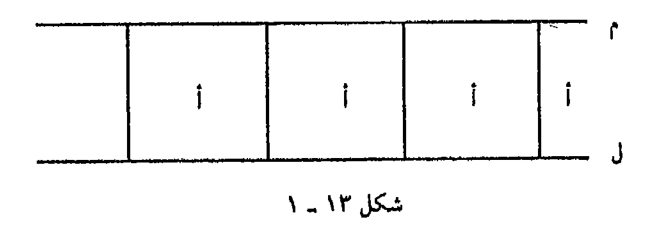
وكما سبق لنا القول ، يعتقد بعض الرياضيين أنهم قد استطاعوا استنتاج بديهة التوازى من بديهيات اقليدس . فلماذا لم يكن ممكنا ، فى ذلك الوقت ، اكتشاف العيوب فى براهينهم ؟ تنحصر الاجابة فى حقيقة أنه فى ذلك الوقت لم يكن هنالك منطق قوى بشكل كاف يمكن عن طريقه توفير قواعد منطقة صارمة للبراهين الهندسية . ان الاحتكام إلى التخيل فى بعض مواضع من الاشتقاق ، كان يتسلل أحيانا على نحو واضح تماما ، وأحيانا أخرى على نحو خفى . إذ لم يكن منهج للتمييز بين الاشتقاق المنطقى الخالص ، والاشتقاق الذى تدخل فيه مركبات لا منطقية تعتمد على الحدس . ولم يصبح هذا متاحا إلا بعد أن تطور المنطق المنظم فى النصف الثانى من القرن الأخير . والحقيقة أن الصياغة الرمزية للمنطق الحديث قد زادت من صلاحيته . ولم يكن هذا هو الشئ الأساسى ، وإنما الشئ الأساسى هو أولا أن القواعد لم تعد تذكر إلا بدقة كاملة ، وثانيا أنه فى كل خطوة من خطوات الاشتقاق الكلى ، لايمكن التوصل إلى قضية إلا بعد أن تكون قد استنبطت من المقدمات أو النتائج التى سبق أن توصلنا إليها عن طريق تطبيق قواعد الاستدلال المنطقى الصارمة .

وقبل تطور المنطق الحديث ، لم يكن هناك نسق للمنطق ، له مجموعة من القواعد بحيث يمكن ملاءمتها مع قواعد الهندسة . إذ أن المنطق التقليدى تعامل فقط مع محمولات ذات مكان

واحد ، إلا أننا فى الهندسة نتعامل مع علاقات ذات عناصر متعددة . فالنقطة الواقعة على خط أو الخط الواقع على سطح ، مجرد أمثلة بسيطة لعلاقات ذات مكانين ، أما النقطة التى تقع بين نقطتين أخريين فهى علاقة ذات ثلاثة أمكنة . ومن ثم ينبغى أن نحسب التطابق بين جزئى الخط بوصفه علاقة ذات مكانين ، ولكن لأنه لم يكن من المعتاد النظر إلى أجزاء الخط بوصفها كيانات أولية ، فقد كان يفضل تمثيل جزء الخط على اعتبار أن له زوجين من النقاط . وفى هذه الحالة يكون التطابق بين جزئى الخط علاقة بين زوج واحد من النقاط " One Point -Pair " ، وزوج آخر من النقاط ، وبكلمات أخرى تصبح علاقة ذات أربعة أمكنة بين النقاط وكما نرى فان الهندسة تحتاج إلى منطق للعلاقات ، هذا المنطق لم يكن له وجود فى ذلك الوقت الذى نتحدث عنه . وعندما أصبح هذا المنطق منتشرا ، فقد أمكن إماطة اللثام عن النقائض المنطقية فى البراهين المتعددة التى كانت مفترضة لبديهة التوازى . ففى نقطة ما من كل حجة ، كانوا يحتكمون إلى مقدمة اعتمدت على الحدس ، ولم يتمكنوا من اشتقاقها منطقيا من بديهيات اقليدس الأخرى . والشئ المثير للانتباه هو أن المقدمة الحدسية ، تصبح فى كل حالة بديهة للتوازى ذاتها وإنما فى شكل متنكر .

وهذا مثال للبديهة المتنكرة المكافئة لبديهة التوازى :

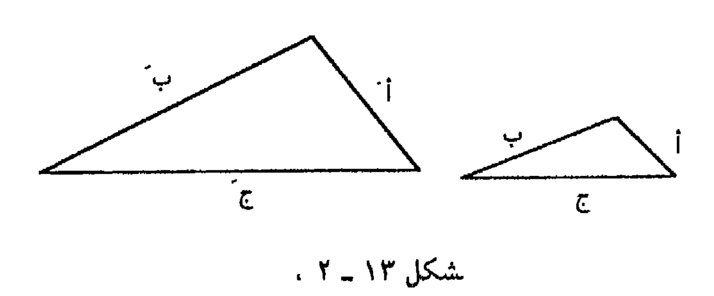
إذا رسمنا الخط المستقيم ل على سطح مستو ، ثم رسمنا المنحنى م ، وكانت النقاط التى على م تأخذ نفس مسافة النقاط التى على ل ، إذن لكان الخط م خطا مستقيما أيضا . ويبين الشكل ١٣ ـ ١ ، حيث تمثل أ المسافة الثابتة من ل إلى كل النقاط التى على م ..وفى محاولات البرهان على بديهة التوازى ، كانت هذه البديهة التى تبدو صادقة حدسا ، تؤخذ فى بعض الاحيان بوصفها فرضا ضمنيا . وبهذا الفرض الضمنى ، أمكن حقا البرهان على بديهة



شكل ١٣ ـ ١

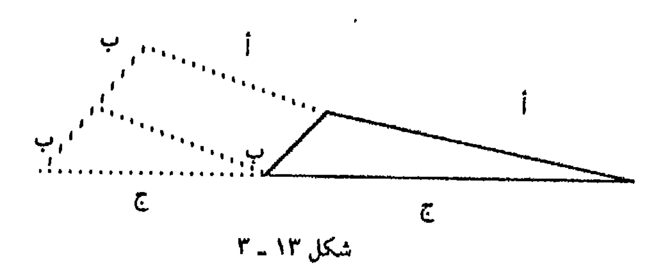
التوازى . ولسوء الحظ لايمكن البرهنة على الفرض نفسه إلا إذا افترضنا صدق بديهة التوازى أو أية بديهة أخرى مكافئة لها .

أما البديهة الأخرى المكافئة لبديهة التوازى ، قد لاتكون واضحة حدسا كما أشار أحد علماء الرياضيات . وهذه البديهة هى الافتراض بأن الاحجام المختلفة للأشكال الهندسية قد تتشابه . فإذا كان لمثلثين مثلا نفس الزوايا والاضلاع ، يقال أنهما متشابهان . ففى الشكل ١٣ ـ ٢ ، النسبة أ : ب تساوى النسبة أ¯ : ب¯ ، كما أن النسبة ب : جـ تساوى النسبة ب¯ : جـ¯ . افترض أننى رسمت أولا المثلث الأصغر أ ب جـ ، فهل يمكننى رسم مثلث أكبر له نفس الزوايا ، وتكون أضلاعه أ¯ ب¯ جـ¯ متناسبة مع أضلاع المثلث أ ب جـ ؟ من الواضح فيما يبدو أن الاجابة سوف تكون بالايجاب .



شكل ١٣ ـ ٢ ،

إفترض أننا نرغب فى رسم مثلث أكبر ، بحيث تكون أضلاعه ضعف اضـــلاع المثلث الأصغر ، يمكننا أن نفعل هذا بسهولة عن طريق مد الضلع أ بحيث يكون له نفس طول الضلع أ ونفعل ذلك بالمثل مع الضلع جـ ، ثم نصل بين الضلعين ، كما هو مبين بالشكل ١٣ ـ ٣ .



شكل ١٣ ـ ٣

وبقليل من التفكير يتضح تماما أن طول الضلع الثالث يساوى ، ب ، وأن المثلث الأكبر يتشابه مع المثلث الأصغر ، وإذا سلمنا بهذه البديهيات المتعلقة بالمثلثات المتشابهة ، لكان فى استطاعتنا البرهنة على بديهة التوازى . ولكننا نعود إلى القول ان البديهة التوازى قد اتخذت شكلا متنكرا . الحقيقة أننا لانستطيع أن نبرهن على تشابه المثلثين دون استخدام بديهـة

التوازى ، أو أية بديهة أخرى متكافئة معها . ولكى نستخدم البديهة المتعلقة بالمثلثات لكان ذلك موافقا لاستخدام بديهة التوازى ، وهى البديهة الأخرى التى نحاول تأسيسها .

ولم يتبين بالفعل أن بديهة التوازى مستقلة عن بديهيات اقليدس الأخرى . إلا عن طريق منطق دقيق جدا ، وكان ذلك فى القرن التاسع عشر . فهذه البديهة لايمكن اشتقاقها من البديهيات الأخرى . إذ أن مثل هذه القضايا السالبة تؤكد استحالة عمل أى شئ فهى فيما يتعلق بالبرهان أصعب بكثير من القضايا الموجبة . إذ يمكن البرهنة على أن هذه القضية الموجبة أو تلك قد اشتقت من مقدمات معينة ، وذلك عن طريق بيان خطوات الاشتقاق المنطقية . ولكن كيف يمكننا أن نبرهن على شئ لايمكن اشتقاقه ؟ إنك إذا فشلت فى اشتقاقه فى مئات من المحاولات ، لكان فى مقدورك أن تتوقف ، ولكن لن يكون هذا برهانا على الاستحالة . إذ يمكن لشخص آخر أن يتوصل ، ربما بطريقة غير متوقعة أو ملتوية ، إلى اشتقاق . ومع ذلك ، وعلى الرغم من الصعوبة التى اكتنفت هذا الأمر ، إلا أنه أمكن أخيرا التوصل إلى البرهان الصورى لاستقلال بديهة التوازى .

ولقد تحققنا من تتبع نتائج هذا الاكتشاف ، أنه كان واحدا من أكثر التطورات أهمية فى رياضيات القرن التاسع عشر . لأنه إذا كانت بديهة التوازى مستقلة عن بديهيات اقليدس الأخرى ، إذن لكان فى مقدورنا استخدام قضية أخرى متعارضة معها دون الوقوع فى تناقض منطقى مع البديهيات الأخرى . وعن طريق التوصل إلى بدائل مختلفة تم استحداث أنساق بديهية حديثة ، أطلق عليها اسم الهندسات اللااقليدية . كيف يمكن للمرء أن يعتقد فى مثل هذه الانساق الحديثة الغريبة التى تتناقض مبرهناتها مع الحدس ؟ هل يمكن أن ينظر إلى هذا الأمر بوصفه لعبة منطقية غير مؤذية ، أم أنه مجرد لعب بقضايا ، رأينا كيف أمكن اشتقاقها دون الوقوع فى عدم الاتساق المنطقى ؟ أم أنه يمكن النظر إليها بوصفها " صادقة " بشكل محتمل ، بمعنى أنها يمكن أن تنطبق على بنية المكان ذاته ؟

ويبدو أنهم كانوا يعتبرون الحالة الأخيرة مجرد عبث محض فى ذلك الوقت ، ذلك لأن أحدا منهم لم يكن يحلم حتى بمجرد اثارة السؤال . وفى الحقيقة ، عندما بدأ قليل من الرياضيين الشجعان الجسورين فى دراسة الانساق اللااقليدية ، ترددوا فى نشر ابحاثهم . وقد يسخر أحدنا الآن ويتساءل لِمَ كانت كل هذه الحساسية فيما يتعلق بنشر أى نسق حديث للرياضيات ؟. أما اليوم فاننا نميل فى الغالب الاعم إلى الأخذ بالاتجاه الصورى الخالص فى أى نسق بديهى .

ولا نسأل عما إذا كان هذا النسق يقدم لنا تفسيرات أو انطباقات ما ، وإنما نسأل عما إذا كان هذا النسق متسقا منطقيا أم لا ، وعما إذا كان يمكن اشتقاق قضية معينة منه أم لا . غير أن هذا لم يكن الاتجاه السائد عند معظم رياضيى القرن التاسع عشر . فقد كانت النقطة فى النسق الهندسى تعنى عندهم موضعا فى مكان ما من الطبيعة ، كما أن الخط المستقيم فى نسقهم كان يعنى خطا مستقيما بالمعنى العادى . ولم ينظر إلى الهندسة بوصفها تمرينا فى المنطق ، وإنما نظر إليها بوصفها بحثا فى المكان الذى يحيط بنا ، وليس مكانا بالمعنى المجرد الذى يعنيه رياضيو اليوم عندما يتحدثون عن مكان توبولوجى (١) أى مكان مترى ذو خمسة أبعاد .

إلا أن كارل فريدريش جوس " Carl Friedrich Gauss " كان واحدا من أعظم الرياضيين ، بل ربما كان أعظم رياضيى القرن التاسع عشر على الاطلاق ، فقد كان أول من اكتشف نسقا هندسيا متسقا ، استخدم فيه بديهة أخرى غير متسقة مع بديهة التوازى . ولم نعرف هذا من منشوراته ، وإنما من خطاب كتبه لصديق . وفى هذا الخطاب يتحدث عن دراسة مثل هذا النسق ، وأنه قد استنتج بعض النظريات الهامة منه . ولقد أشار إلى أنه لم يقم بنشر تلك النتائج خوفا من الاحتجاج العنيف الذى يحتمل أن يلقاه من البيوتيين " Boeotians " . وربما يعرف القارئ أنه كان يشير بذلك إلى البيوتيين الذين كانوا يسكنون مقاطعة بيوتيا " Boeotia " ، فقد عرف عنهم أنهم قوم أجلاف غير محترمين . ويمكننا أن نترجم عبارته هذه إلى لغة حديثة بقولنا أن " هؤلاء الهلبليون " Hilbillies " سوف يسخرون وينعتوننى بالجنون " . ولم يقصد جوس بالهلبليين مع ذلك أنهم قوم جاهلون ، وإنما كان يعنى بهم أساتذة الرياضيات والفلسفة . فقد توقع أنهم سوف ينعتونه بالجنون لأنه تحدث بجدية عن هندسة أخرى لا اقليدية .

وإذا كنا ـ طبقا لجوس ـ قد استغنينا عن بديهة التوازى ، فماذا يمكننا أن نضع مكانها ؟ والحقيقة أن الاجابة على هذا السؤال ، تحتل أهمية بالغة فى تاريخ الفيزياء الحديثة ، وأننا سوف نوليها اهتمامنا بالتفصيل فى الفصول من ١٤ الى ١٧ .

***

**هوامش**

(١) التوبولوجيا " Topology " هندسة لا كمية ولا مقدارية ، وإنما هى فرع من الرياضيات يعنى بدراسة موقع الشئ بالنسبة إلى الأشياء الأخرى ، ولا يعنى بالمسافة أو الحجم . ( المترجم ) .

## الفصل الرابع عشر

# الهندسات اللا إقليدية

---

فى محاولة للبحث عن بديهة توضع مكان بديهة التوازى لاقليدس ، يوجد لدينا اتجاهان متعارضان يمكننا أن نتحرك من خلالهما :

(١) يمكننا أن نقول أنه على سطح مستو ، وفى نقطة خارج الخط ، لايوجد سطح مواز ( ولقد أكد اقليدس وجوده على نحو قاطع ) .

(٢) ويمكننا أن نقول أن هناك أكثر من متواز واحد . ( وهذا يثبت فى النهاية أنه إذا كان لدينا أكثر من متواز ، فلابد أن يكون هناك عدد لا متناه منها ) .

ولقد اكتشف أول هذين الانحرافين عن هندسة اقليدس ، الرياضى الروسى نيقولاى لوباتشفسكى " Nikolai Lobachevski " ، والثانى الرياضى الالمانى جورج فريدريش ريمان " George Friedtich Riemann " . ولقد وضعت فى الجدول المرسوم فى الشكل ١٤ ـ ١ الهندستين اللااقليديتين فى الجانب المقابل للهندسة اللااقليدية ، وذلك لكى نبرز مدى انحرافهما عن البنية الاقليدية فى الاتجاهين المقابلين .

أكتشفت هندسة لوباتشفسكى عن طريق لوباتشفسكى نفسه الذى نشر كتابه عام ١٨٣٥ ، وكان ذلك باستقلال وتقريبا بالتزامن مع الرياضى الهنغارى يوهان بوليــاى " Johann Bolyai " الذى نشر نتائجه قبله بثلاث سنوات . أما هندسة ريمان فلم يتم اكتشافها إلا بعد حوالى عشرين سنة تالية . وإذا أردت أن تطلع أكثر فى موضوع الهندسات اللااقليدية هناك العديد من الكتب الجيدة المتاحة باللغة الانجليزية .

| نوع الهندسة | عدد المتوازيات | مجموع زوايا المثلث | نسبة محيط الدائرة إلى قطرها | مقياس درجة الإنحناء |
|---|---|---|---|---|
| لوباتشفسكى | ∞ | < ١٨٠° | < $\pi$ * | < صفر |
| إقليــــدس | ١ | ١٨٠° | $\pi$ | صفر |
| ريـــــــان | صفر | > ١٨٠° | > $\pi$ | > صفر |

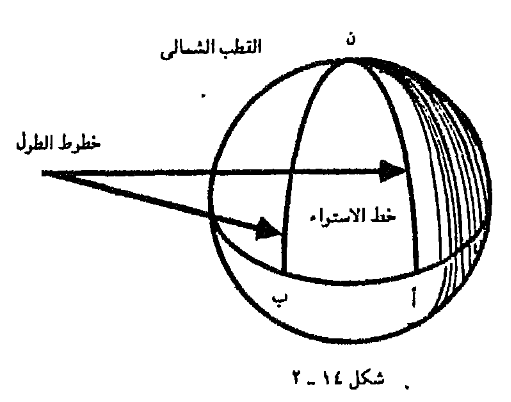
شكل ١٤ ـ ١

* هذا الرمز يقرأ " باى " PI " وهو يمثل النسبة بين محيط الدائرة وقطرها أى ٣٫١٤١٥٩٢٦٥ . ( المترجم ) .

وهناك هندسة لا اقليدية أخرى للرياضى الايطالى روبرتو بونولا " Roberto Bonola " تحتوى على مادتين كتبهما بولياى ولوباتشفسكى ، ومن الممتع حقا قراءتهما فى صورتيهما الاصليتين . واعتقد أن أفضل كتاب يناقش الهندسة اللااقليدية من وجهة النظر المتبناه هنا ، اعنى مطابقتها لفلسفة الهندسة والمكان ، هو كتاب هانز ريشنباخ " H.Reichenbach Philosophie der Raum- Zeit-Leher " الذى نشر طبعته أولى عام ١٩٢٨ وقد ترجم إلى الانجليزية بعنوان " فلسفة المكان والزمان " وإذا كنت مهتما بوجهة النظر التاريخية هناك كتاب ماكس جمر " Max Jammer " مفاهيم المكان " : تاريخ نظريات المكان فى الفيزياء " وقد تجد أحيانا فى مناقشات جمر مسحة ميتافزيقية طفيفة ، وإن كنت لست متأكدا ما اذا كان هذا يرجع إلى وجهة نظره الشخصية أم إلى وجهة نظر هؤلاء الرجال الذى يناقشهم ، على أية حال ، يعد هذا الكتاب أحد الكتب القليلة التى تتناول بالتفصيل التطور التاريخى لفلسفة المكان .

والآن دعنا نلقى بنظرة متفحصة أكثر للهندستين اللااقليديتين . فى هندسة لوباتشفسكى التى يطلق عليها علميا اسم الهندسة الزائدية المقطع " Hyperbolic geometry " ، يوجد عدد لانهائى من المتوازيات . أما فى هندسة ريمان التى يطلق عليها علميا اسم الهندسة الاهليلجيـة " Elliptic geometry " فلا توجد أية متوازيات . كيف يمكن لهندسة ما ألا تحتوى على أية خطوط متوازية ؟ الحقيقة أننا لايمكننا فهم هذا إلا بالرجوع إلى نموذج قريب الشبه إلى حد بعيد بنموذج الهندسة الاهليلجية ولكنه ليس هو على نحو دقيق ، وأعنى به نموذج الهندسة الكرويـة " Spherical Geomtry " . وهذا النموذج ببساطة سطح جسم كروى ، ينظر إليه بوصفه مماثلا لسطح مستو . أما الخطوط المستقيمة على السطح المستوى فهى تمثل هنا

بدوائر عظيمة للجسم الكروى وبمصطلحات أكثر عمومية يمكننا القول ، أنه فى أى هندسة لااقليدية ، فان الخطوط التى تنطبق على الخطوط المستقيمة فى الهندسة الإقليدية هى " الخطوط الجيودوسية " " Geodesic lines " (١) ، وتقتسم مع الخطوط المستقيمة خاصية كونها أقصر مسافة بين نقطتين معينتين . وفى نموذجنا سطح الجسم الكروى يعد أقصر مسافة بين نقطتين ، أما الجيودسى فهو جزء من الدائرة الكبيرة . ويمكننا الحصول على منحنيات الدوائر الكبيرة عن طريق تقطيع الجسم الكروى بسطح مستو من مركز الجسم الكروى . وهذه الامثلة شبيهة بخط الاستواء ودوائر خطوط الطول فى الكرة الأرضية .




شكل ١٤ ـ ٢

لقد رسمنا فى شكل ١٤ ـ ٢ خطين من خطوط الطول متعامدين على خط الاستواء . إننا نتوقع فى الهندسة الاقليدية خطين متعامدين ومتوازين لخط معين ، ولكن على هذا السطح الكروى تتقابل الخطوط فى القطب الشمالى وأيضا فى القطب الجنوبى ولايوجد على السطح الكروى خطان مستقيمان أو بالاصح خطوط مستقيمة إلى درجة مـــا " Quasistraight lines " ، وأعنى بذلك أن الدوائر الكبيرة لا تلتقى أبداء إذن لدينا هنا نموذج متخيل للهندسة لايوجد فيه خطوط متوازية .

ولقد أمكن أيضا تمييز الهندستين اللااقليديتين بمجموع زوايا المثلث . ويعد هذا التمييز هام جدا من وجهة نظر الابحاث الامبيريقية المعنية ببنية المكان . ولقد كان جوس هو أول من رأى بوضوح امكانية أن يكشف البحث الامبيريقى عن طبيعة الهندسة التى تصلح لوصف المكان بشكل أفضل ، وبمجرد أن نتحقق من اتساق الهندسات اللااقليدية منطقيا يمكننا أن نقرر ، دون الرجوع إلى الاختبارات الامبيريقية ، أى الهندسات التى تصلح للطبيعة . وعلى الرغم من التحيز الكانطى الذى كان سائدا فى عصره ، استطاع جوس بالفعل أن يشرع فى اجراء تجربة من

هذا النوع .

ومن السهل أن ندرك أن اختبار المثلثات أسهل بكثير من اختبار الخطوط المتوازية فلقد كان الاعتقاد السائد هو أن المتوازيات لايمكن أن تتقابل أبدا حتى لو امتدت إلى عدة ملايين من الاميال . أما قياس زوايا المثلث فانها لاتحتاج سوى لمساحة قليلة من المكان . إننا نعرف أن مجموع زوايا أى مثلث فى الهندسة الاقليدية تساوى زوايتين قائمتين أى ١٨٠ درجة . أما مجموع زوايا المثلث فى هندسة لوباتشفسكى الزائدية المقطع فهى أقل من ١٨٠ درجة ، وفى هندسة ريمان الاهليلجية أكثر من ١٨٠ درجة .

ويمكننا أن نفهم بسهولة الانحراف عن ١٨٠ درجة ، فى الهندسة الاهليلجية ، وذلك بمساعدة نموذج سطح الجسم الكروى . افترض ان المثلث ب أ ن فى الشكل ١٤ ـ ٢ ، يتألف من قطعتى دوائر من خطوط الطول ، بالاضافة إلى خط الاستواء . فإن كلتا الزاويتين اللتين تقعان على خط الاستواء تساوى ٩٠ درجة ، ومن ثم يصبح لدينا اجمالى فعلى لهما ١٨٠ درجة . فإذا أضفنا لهما زاوية القطب الشمالى يصبح المجموع أكثر من ١٨٠ درجة . وإذا حركنا خطى دوائر الطول حتى يتقاطـــع كل منهما مع الآخر فى زوايا قائمة ، إذن لكانت كل زاوية من زوايا المثلث قائمة ، وإذن لكان مجموع الزوايا الثلاث ٢٧٠ درجة .

ولقد نمى إلى علمنا أن جوس فكر فى إجراء اختبار لمجموع زوايا مثلث نجمـى هائل الضخامة ، وهناك تحقيقات تفيد أنه قد أجرى بالفعل تجربة شبيهة بذلك على قياس أرضى ، وذلك عن طريق تثليث ثلاثة رؤوس جبال فى ألمانيا . ولأنه كان أستـاذا فـى جامعـة جونتجـن " Gottingen " ، فقد قيل أنه اختار هضبة بالقرب من المدينة ، وقمتى جبلين ، يمكن رؤيتهما من أعلى هذه الهضبة . وقام بالفعل بانجاز عمله الهام فى تطبيق نظرية الاحتمال على أخطاء القياس ، كما أنه قد اتيحت له الفرصة فى أن يستخدم مثل هذه الاجراءات . ولقد كانت الخطوة الأولى هى أن يقيس الزوايا بصريا من كل قمة ، ثم يعيد القياس مرات عديدة . ويوضع هذه النتائج الملاحظة فى الاعتبار ، وتحت اضطرارات معينة . استطاع جوس أن يحدد الحجم الأكثر احتمالا لكل زاوية ، ومن ثم القيمة الاكثر احتمالا لمجموعها ، ومن تشتت النتائج ، استطاع حينئذ أن يحسب الخطأ المحتمل ، ومن ثم المسافة المؤكدة لمتوسط البعد . ذلك أن احتمال القيمة الصحيحة الواقعة فى داخل المسافة كانت مساوية لاحتمال وقوعها خارج المسافة ويقال أن جوس أجرى ذلك ، ووجد أن مجموع الزوايا الثلاث لم تكن ١٨٠ درجة على نحو دقيق ،

ولكنها تنحرف بمقدار ضئيل عن مسافة الخطأ المحتمل . وهذه النتيجة توضح أن المكان إما أن يكون اقليديا ، أو إذا كان لااقليديا ، فإن انحرافه ضئيل للغاية إلى الدرجة التى يكون فيها أقل من الخطأ المحتمل فى القياسات .

وحتى إذا لم يقم جوس باجراء مثل هذه التجربة ، كما أوضحت المصادر الحديثة فإن الاسطورة فى حد ذاتها تصبح حدثا هاما فى تاريخ الميثودولوجيا العلمية . فلقد كان جوس بالتأكيد هو أول من أثار هذه السؤال الثورى : ماذا نحن واجدون إذا أجرينا بحثا امبيريقيا فى البنية الهندسية للمكان ؟ ولم يكن أحد قد فكر أبدا فى اجراء مثل هذا البحث . لأن الاعتقاد السائد وقتها أنه مناف للطبيعة . وهذا الأمر شبيه بمحاولة حساب السبعة والثمانية بوسائل امبيريقية . تخيل أن لديك سبع سلات ، تحتوى كل سلة على ثمانى كرات ، ونقوم باحصاء كل الكرات مرات عديدة . فاننا نحصل فى معظم الحالات على الرقم ٥٦ ، ولكننا فى بعض الأحيان نحصل على ٥٧ أو ٥٥ . ونحاول التمعن فى هذه النتائج لنكتشف القيمة الحقيقة للسلات السبع فى ثمانى كرات . وذات مرة اقترح الرياضى الفرنسى جوردان " P.E.B. Jourdain " بدعابة أن أفضل وسيلة لعمل ذلك ، هو ألا تجرى هذه الحساب بنفسك ، لأنك ببساطة ليست خبيرا فى الحساب ، وإنما الخبراء هم رؤساء الخدم فى المطاعم أو الفنادق الذين يجمعون ويضربون الاعداد بمهارة . فإذا جمعت رؤساء الخدم ذوى الخبرة وسألتهم كم تكون السبعة ثمانى مرات ، لا تتوقع انحرافا كبيرا فى اجاباتهم . ولكنك إذا استخدمت أعدادا أكبر ، ولنقل العدد ٢٣ فى ٢٧ مرة فقد يكون هناك تشتت ما . ولكن هناك حل وهو أن نأخذ متوسط جميع الاجابات واضعين فى الاعتبار عدد الخدم الذين أدلوا باجاباتهم ، وعلى هذا الاساس نحصل على التقدير العلمى لناتج ٢٣ فى ٢٧ مرة .

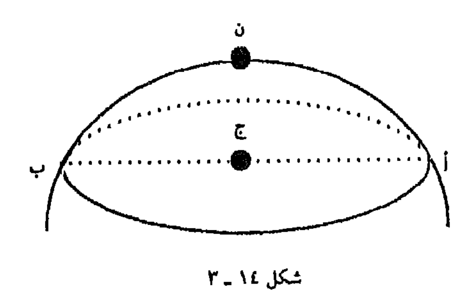
إذن بالنسبة لمعاصرى جوس ، كانت أية محاولة لبحث نظرية هندسية امبيريقياً تبدو محالة تماما . لأنهم نظروا إلى الهندسة بنفس الطريقة التى ينظرون بها إلى الحساب . فقد اعتقدوا مع كانط أن حدسنا منزه عن الأخطاء الهندسية . لأننا عندما " نرى " شيئا ما فى مخيلتنا ، فلايمكن أن يختلف عما رأيناه ، أما العبث المحض فهو قياس زوايا المثلث بغرض العثور على القيمة الحقيقية لمجموعها . إذ أن أى شخص فى مقدوره أن يرى ـ بعد تدريب بسيط على الهندسة الاقليدية ـ أن مجموع الزوايا لابد أن يكون ١٨٠ درجة . ولهذا السبب يقال أن جوس قد أحجم عن نشر اجراء هذه التجربة ، حتى بعد أن لاحظ قيمتها ومع ذلك ، ونتيجة للتأمل المستمر فى الهندسيات اللااقليدية ، بدأ عدد من الرياضيين يتحقق أن هذه الهندسات الحديثة

العجيبة قد طرحت مشكلة امبيريقية أصيلة . ولم يعثر جوس نفسه على اجابة شافية لها ، ولكن كان لديه الحافز القوى للتفكير بطريقة لا ـ كانطية فى المشكلة الكلية لبنية المكان فى الطبيعة .

ولكى نرى بوضوح أكثر كيف يمكن للهندسات اللاإقليدية المتعددة أن تختلف كل منها عن الأخرى ، دعنا نفترض مرة أخرى سطحا لجسم كروى . وكما رأينا من قبل يعد هذا نموذجا ملائما ، قد يساعدنا على فهم البنية الهندسية لسطح مستو فى المكان الريمانى ( ويعنى المكان الريمانى هنا ما يسمى بالمكان الاهليلجى ، كما أن هذا المصطلح يعنى أيضا معنى أكثر عمومية ، سيتم توضيحه فيما بعد ) .

وعلينا ألا نطيل أكثر من ذلك فى المماثلة بين السطح الريمانى والسطح الكروى ، لأن أى خطين مستقيمين على السطح المستوى فى المكان الريمانى له نقطة واحدة مشتركة فقط ، حيث أن الخطوط على السطح الكروى ، التى تنطبق على الخطوط المستقيمة ـ الدوائر الكبرى ـ تتقابل دائما فى نقطتين . افترض على سبيل المثال تقابل خطين من خطوط الطول فى كل من القطب الشمالى والقطب الجنوبى . وبحديث أكثر دقة ، إذا حرصنا أنفسنا فى جزء من السطح الكروى الذى لايحتوى على نقاط متقابلة مثلما هو الحال فى القطبين الشمالى والجنوبى ، فان نموذجنا ينطبق فقط على السطح الريمانى . أما إذا كان الجسم الكروى الكامل هو نموذجنا ، ينبغى أن نفترض إن كل نقطة على السطح المستوى الريمانى تنطبق على سطح الجسم الكروى فى نقطتين متقابلتين . فإذا كانت نقطة البدء من القطب الشمالى مرورا إلى القطب الجنوبى على الكرة الأرضية ، إذن لانطبق على نقطة بدء واحدة على السطح الريمانى التى تأخذ خطا مستقيما على السطح ، وتعود إلى نفس النقطة . إذ أن كل الخطوط الجيوديسية فى المكان الريمانى لها نفس الطول النهائى ومتقاربة مثل محيط الدائرة . أما الانحراف الشديد الذى يبدو فى حدسنا لهذه الحقيقة ربما يكون سببه هو أن هذا النوع من الهندسة جاء فى وقت متأخر نسبيا بالمقارنة بهندسة لوباتشفسكى .

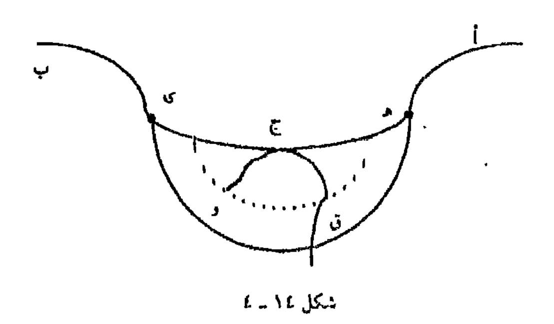
ويمكننا أن نرى بسهولة ، بمساعدة نموذجنا الكروى ، أن نسبة محيط الدائرة إلى قطرها فى المكان الريمانى ، تقل دائما عن باى PI . ويوضح الشكل ١٤ ـ ٣ دائرة على الكرة الأرضية قطبها الشمالى يكون بالنسبة إلى مركزها ، وينطبق هذا أيضا على دائرة فى السطح الريمانى . ولايكون نصف القطر هو الخط ب جـ ، لأنه لايقع على سطح الجسم الكروى ، وإنما نصف القطر



شكل ١٤ ـ ٣

هو ب ن ،أما القطر فهو القوس أ ن ب . ونعرف أن محيط هذه الدائرة بالنسبة إلى جزء من الخط أ جـ ب هو باى pi ، ولأن القوس أ ن ب أطول من أ جـ ب ، إذن لاتضح أن نسبة محيط الشكل إلى القوس أ ن ب ( الذى هو قطر الدائرة فى السطح الريمانى ) ينبغى أن يكرن أقل من باى Pi .

أما فى المكان اللوباتشفسكى فليس من اليسير أن نرى ذلك ، لأنه طريقته مختلفة تماما ، إذ أن النسبة بين محيط الدائرة إلى قطرها ينبغى أن تكون أكبر من باى " PI " . وربما يمكننا أن نتخيله بمساعدة نموذج آخر ولايمكن أن يستخدم هذا النموذج ( المبين فى الشكل ١٤ ـ ٤ ) لأجل سطح لوباتشفسكى كامل ، فهو ليس بالتأكيد مكانا لوباتشفسكيا ثلاثى الأبعاد . ولكن يمكن



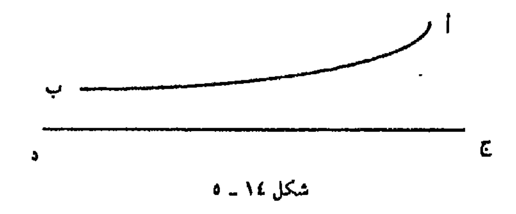
شكل ١٤ ـ ٤

ستخدامه فى جزء محدود من السطح اللوباتشفسكى . والنموذج على شكل سرج موضعه فى مر بين جبلين ، بحيث تكون أ قمة جبل و جـ المرر و قمة الجبل الأخرى . حاول أن تتخيل هذا لسطح ، وستجد منحنى ربما يكون ممرا يمر بالنقطة و ، وعلى الجانب الآخر يرتفع الممر ويلاقى لنقطة جـ ، ثم ينخفض على الجانب القريب ويلاقـــى النقطة د . ويكون شكل السرج جزءا من ذا السطح ، ويشتمل على النقاط جـ ، د ، هـ ، و ، ى ، ويلاحظ هذا الشكل بوصفه نموذجا بنية المكان فى سطح لوباتشفسكى .

وفى هذا النموذج ، ما هو الشكل الذى يمكن أن تكون عليه الدائرة ؟

افترض أن مركز الدائرة يقع فى جـ ، فلابد أن يمثل محيط الدائرة الخط المنحنى د هـ و ى د وهذه النقاط تقع على نفس المسافة من المركز جـ ، فإذا مررت بطول الدائرة إلى النقطة هـ ، ستجد نفسك أعلى من المركز . ويسهل عندئذ أن نرى أن هذا الخط المتموج الذى يمثل الدائرة فى السطح اللوباتشفسكى أطول من الدائرة المعتادة على السطح الاقليدى . ولأنه أطول ، فان نسبة محيط هذه الدائرة إلى قطرها ( القوس و جـ د أو القوس ى جـ هـ ) لابد أن يكون أكبر من باى pi .

ويمكننا بناء نموذج أكثر احكاما ، ينطبق بدقة على جميع المقاييس التى تقيس جزءا من سطح لوباتشفسكى ، وذلك بأن نأخذ منحنى معين يسمى تواكتركس " A tractrix " ( وهو القوس أ ب فى الشكل ١٤ ـ ٥ ) ثم نديره حول المحور جـ د . ويسمى السطح الناتج عن هذا الدوران بالسطح الكروى الزائف " A peudosshere " . وإذا كنت قد درست مثل هذا النموذج ، فلابد أنك تعرف أن مجموع زوايا المثلث المرسومة على سطحه أقل من ١٨٠ درجة ، وأن نسبة



شكل ١٤ ـ ٥

محيط الدائرة إلى نصف قطرها تتجاوز باى pi . كما أن الدائرة الأكبر على هذا السطح تسبب انحرافا أكبر من باى . ولاينبغى الاعتقاد بأن هذا يدل على أن باى غير ثابتة ، ولكن باى هى نسبة محيط الدائرة إلى قطرها فى السطح الاقليدى ، ولاتتغير هذه الحقيقة بوجود هندسات لا اقليدية .

ولابد أن يكون لكل سطح من الاسطح سواء أكانت اقليدية أو لااقليدية ، وفى أى نقطة من نقاطها مقياسا يطلق عليه اسم " مقياس الانحناء " وتتميز هندسة لوباتشفسكى بحقيقة أن قياس سطح الانحناء فيها يكون دائما سالبا وثابتا .

وقد تعترض قائلا ، إذا كان السطح مستويا فلايمكن أن يكون منحنيا فى نفس الوقت .

ولكن المنحنى " مصطلح فنى " تكنيكى " ولاتفهمه هنا بالمعنى العادى للكلمة . ففى الهندسة الاقليدية مثلا ، عندما نريد قياس منحنى خط معين عند أية نقطة ، يتم ذلك عن طريقة أخذ " أنصاف أقطار المنحنى " المتبادلة . " ونصف قطر المنحنى " معناه هو تطابق نصف قطر الدائرة مع جزء من الخط المتناهى الصغر فى النقطة المشار إليها . فإذا كان هناك خط منحنى فهو يبدو لنا وكأنه مستقيم بالكاد ، وذلك فى الحالة التى يكون عليها نصف قطر المنحنى طويلا ، أما إذا كان نصف القطر قصيرا ، فإن الخط يبدو منحنيا بشدة .

إذن كيف نقيس منحنى سطح فى نقطة مفترضة ؟ نقيس أولا منحنى الخطين الجيوديسيين اللذين يتقاطعان فى تلك النقطة ، ويمتدان فى اتجاهين يطلق عليهما اسم " الاتجاهين الرئيسيين " للسطح فى تلك النقطة . ويكون اتجاه المنحنى الاقصى للخط الجيوديسى فى تلك النقطة ، أما المنحنى الأدنى فيكون فى الاتجاه الآخر . ومن ثم يمكننا أن نعرّف منحنى السطح فى تلك النقطة بوصفه نتاجا لنصفى قطر منحنى الخطين الجيوديسيين المتعاكسين . افترض ، مثلا أننا نريد قياس منحنى سطح ممر الجبل المبين فى الشكل ١٤ ـ ٤ من النقطة جـ . يلاحظ أن الخط الجيوديسى ـ القوس هـ جـ ى ـ ينحنى بطريقة مقعرة ، بينما ينحنى القوس و جـ د ـ بحيث يكون الخط الجيوديسى فى الزوايا اليسرى بالنسبة له ـ بطريقة محدبة . ويعطى هذا أن الخطين الجيوديسيين المنحنيين الأعلى والأدنى للسطح فى النقطة جـ . وبالطبع إذا نظرنا إلى هذا الخط من الجانب الأسفل لبدا لنا القوس هـ جـ ى محدبا ، والقوس و جـ د مقعرا . ولايهم على الاطلاق الجانب الذى ننظر منه إلى السطح ، فقد نرغب فى أن يكون احدهما محدبا والآخر مقعرا أو العكس ولكننا نطلق على احدهما اصطلاحيا الجانب الموجب وعلى الآخر الجانب السالب ، ويعطينا حاصل نصفى القطر المتعاكسين القيمة ١/١ر٢ ، وهذه القيمة هى منحنى السطح الذى يأخذ شكل السرج فى النقطة جـ . ولابد أن يكون نصف قطر المنحنى ـ الذى يكون على أية نقطة من السطح الذى يأخذ شكل السرج ـ موجبا ، ونصف القطر الآخر سالبا . ونتيجة لذلك لابد أن يكون حاصل عكس نصفى القطر ، سالبا .

أما فى حالة السطح المحدب فلايكون الأمر على هذا النحو بشكل كامل . إذ أن الخطين الجيوديسيين لسطح جسم كروى أو بيضى ينحنيان كلاهما بنفس الطريقة . وقد ينحنى احدهما أكثر من الآخر ، ولكن على العموم كليهما ينحنى بنفس الطريقة . ومرة أخرى لايهم الجانب الذى ننظر منه إلى السطح وما يترتب على ذلك من جعل نصف قطر احدهما موجبا والآخر سالبا ولكن الذى يهمنا هو أن حاصل عكسهما سوف يكون دائما موجبا . ومن ثم فانه على أى سطح

محدب أو كروى لابد أن يكون قياس المنحنى على أية نقطة موجبا .

وبناء على ذلك يمكن تمييز الهندسة اللوباتشفسكيه ونموذجها هو السطح الذى يأخذ شكل السرج على هذا النحو : فى أى مكان لوباتشفسكى ، لابد أن تكون هناك قيمة سالبة معينة تمثل مقياس المنحنى عند أية نقطة على أى سطح فى ذلك المكان . وبالمثل يمكن تمييز الهندسة الريمانية ، ونموذجها السطح الكروى ، على هذا النحو : فى أى مكان ريمانى ، لابد أن تكون هناك قيمة موجبة معينة تمثل مقياس المنحنى عند أية نقطة على أى سطح فى ذلك المكان . ومنحنى الامكنة لكليهما لابد أن يكون ثابتا . وهذا يعنى أنه بالنسبة لأى مكان ، لابد أن يكون مقياس المنحنى عند أية نقطة على أى سطح هو نفسه .

فإذا كانت ك هى مقياس المنحنى ، فـى المكـان الاقليدى ، الذى يكون له أيضا منحنى ثابت ، إذن لابد أن ك = صفر . وفى المكان اللوباتشفسكى تكون ك < صفر ، أما فى المكان الريمانى تكون ك > صفر . ولاتتحدد هذه القيم العددية عن طريق بديهيات الهندسة ، وإنما يتم الحصول على الامكنة الريمانية المختلفة عن طريق اختيار قيم موجبة مختلفة لـ ك ، كما يتم الحصول على الامكنة اللوباتشفسكية المختلفة عن طريق اختيار قيم سالبة مختلفة لـ ك . وبصرف النظر عن قيمة البارامترك ، فإن جميع المبرهنات فى كل الامكنة اللوباتشفسكية تتشابه تماما ، كما تتشابه تماما فى كل الأمكنة الريمانية . ولكن مبرهنات كل هندسة منهما تختلف تمامار بالطبع عن الأخرى .

ومن المهم أن ندرك أن " المنحنى " فى معناه الأصلى والحرفى ، ينطبق فقط على أسطح نموذج اقليدى لسطح مستو لا اقليدى . إذ أن هناك اسطحا منحنية بهذا المعنى فى الجسم الكروى والجسم الكروى الزائف . ولايعنى أن المصطلح " مقياس المنحنى " الذى ينطبق على الاسطح المستوية اللااقليدية ، إن هذه الاسطح المستوية " تنحنى " بالمعنى المعتاد للكلمة ، ولكن الذى يبرر تعميم المصطلح هو أن البناء الهندسى الداخلى للسطح الريمانى المستوى هو نفس البناء الخارجى لسطح جسم كروى اقليدى ، وينطبق نفس الشئ على بناء السطح المستوى فى المكان اللوباتشفسكى . ولكن درج العلماء على أخذ مصطلح قديم ، واضفاء معنى أكثر عمومية له . غير أن هذا لم يسبب أدنى صعوبة أثناء القرن التاسع عشر ، لأن الرياضيين فقط هم الذين كانوا يدرسون الهندسات اللااقليدية ولكن بدأت المتاعب عندما استخدم اينشتين الهندسة اللااقليدية فى نظريته العامة للنسبية . فقد أخرج أينشتين هذا الموضوع من نطاق

الرياضيات البحتة ، وأدخله فى نطاق الفيزياء . ومن ثم أصبحت الهندسة اللااقليدية وصفا للعالم الفعلى . وأراد الناس أن يفهموا ما كان اينشتين يفعله ، ومن أجل هذا ظهرت مؤلفات تفسر هذه الأشياء للرجل العادى . ولقد ناقش المؤلفون فى هذه المؤلفات " الأسطح المنحنية " و " المكان المنحنى " ولكن هذا النقاش كان " غير ملائم " ومضلل إلى أبعد حد . فقد كان ينبغى عليهم أن يقولوا : " هناك مقياس معين يرمز له بـ ك ـ ويطلق عليه الرياضيون اسم " مقياس المنحنى " ولكن لا ينبغى عليك أن تولى هذه العبارة أى اهتمام ـ إذ أن ك هذه تكون موجبة داخل الشمس ، وسالبة فى المجال الجاذبى للشمس . وحينما نبتعد أكثر فأكثر عن الشمس ، تقترب القيمة السالبة لـ ك من الصفر " .

وبدلا من ذلك ، قال ( المؤلفون للكتب العلمية المبسطة ) أن اينشتين اكتشف أن الأسطح المستوية فى فضائنا منحنية . وسبب هذا اضطرابا شديدا للرجل العادى . فقد تساءل القراء ما معنى أن نقول أن الأسطح المستوية منحنية . فإذا كانت منحنية ، لاينبغى أن تسمى مستوية . هكذا كانوا يفكرون ، ولقد أدى الحديث عن " المكان المنحنى " بهذه الطريقة ، إلى أن يعتقد الناس أن كل شئ فى الفضاء منحرف ، أو ملتو . وكان مؤلفو الكتب فى النسبية يتحدثون أحيانا عن كيف نحنى قوى جاذبية الأسطح المستوية . لقد وصفوا الأمر كما لو كان هناك شخص ما يحنى معدنا من الصلب . ولقد أدى هذا النمط من التفكير إلى نتائج غريبة ، ممادفع بعضا من الكتاب إلى معارضة نظرية اينشتين بناء على تلك الأسس . وكان يمكن تفادى كل هذا لو أمكن تجنب المصطلح " منحنى " .

ولكن ، من ناحية أخرى ، ليس من اليسير أن ندخل مصطلحا يختلف تماما عن مصطلح مستخدم بالفعل ، وبطريقة معتادة فى الرياضيات ، ولذلك كان أفضل اجراء هو أن نقبل المصطلح " منحنى " بوصفه مصطلحا فنيا ( تكنيكيا ) ، ويكون معلوما بوضوح أن هذا المصطلح لاينبغى أن يرتبط بالروابط القديمة . إذ لاينبغى التفكير فى سطح مستو لااقليدى بوصفه " منثنيا " على سطح كروى ، لأنه عندئذ لن يصبح سطحا مستويا ، ولن يكون له البناء الداخلى للسطح الاقليدى المستوى ولكننا نسميه سطحا مستويا بمعنى أن البناء على جانب منه يشبه تماما البناء على الجانب الآخر . ونلمس هنا خطورة القول أن السطح الكروى الاقليدى يعد نموذجا للسطح المستوى الريمانى ، لأنك إذا كنت تفكر فى سطح كروى ، فلابد أنك تعتقد أن داخله يختلف تماما عن خارجه . إذ أن السطح من الداخل يبدو مقعرا ، ومن الخارج ، محدبا . وهذه ليست حقيقة السطح المستوى سواء أكان ذلك فى المكان اللوباتشفسكى أو الريمانى ، وإنما

السطح المستوى فى كليهما متماثل . فإذا غادرنا السطح من جانب ، فاننا لانلاحظ شيئا مختلفا عما لاحظناه إذا غادرنا السطح من الجانب الآخر . ولكن البنية الداخلية للسطح هى نفس البنية التى يمكننا قياس درجة الانحناء فيها بمساعدة البارامترك . وينبغى أن نتذكر أن هذا المنحنى يكون بالمعنى الفنى له ، وهو يختلف تماما عن فهمنا الحدسى للمنحنى فى المكان الاقليدى .

ولقد اتضح ببساطة اضطراب اصطلاحى آخر ، يتعلق بمعنيين ( سبق أن ألمحنا إليهما فى هذا الفصل ) " للهندسة الريمانية " . فعندما اكتشف ريمان هندسته فى الانحناء الموجب الثابت اطلق عليها اسم الهندسة الريمانية لتمييزها عن المكان اللوباتشفسكى السابق الذى يكون الانحناء فيه سالبا . وتمكن ريمان أخيرا من تطوير نظرية عامة للامكنة يكون الانحناء فيها متغيرا ، بحيث لم نعد نتعامل مع الامكنة بشكل بديهى ( فقد ظلت بديهيات الهندسة اللااقليدية هى نفسها بديهيات الهندسة الاقليدية فيما عدا بديهية التوازى التى حل محلها بديهة حديثة حدّت من نطاق امكنة المنحنى الثابت ) وأصبحنا نأخذ فى الاعتبار عدد الأبعاد فى نظرية ريمان العامة ، وفى كل الحالات ، قد يختلف المنحنى باستمرار من نقطة إلى أخرى .

وعندما يتحدث الفيزيائيون عن " الهندسة الريمانية " ، فانهم يعنون بذلك " الهندسة العامة " التى تندمج فيها الهندسة الريمانية واللوباتشفسكية معا ( وتسمى اليوم بالهندستين الاهليلجية والزائدية المقطع ) مع الهندسة الاقليدية . إذ أنها حالات خصوصية أبسط . وبالإضافة إلى تلك الحالات الخصوصية هناك اختلاف كبير فى أمكنة المنحنى فى الهندسة الريمانية العامة . وبالإضافة إلى كل ذلك هناك مكان اينشتين الذى تبناه فى نظريته العامة للنسبية .

* * *

**هوامش**

(١) الخط الجيوديسى هو أقصر خط بين نقطتين على سطح معين . ( المترجم ) .

## ☐ الفصل الخامس عشر ☐

# بوانكاريه فى مواجهة إينشتين

لقد ألف هنـرى بوانكاريه " Henri Poincare` " الرياضى والفيزيائى الفرنسى الشهير ، العديد من المؤلفات فى فلسفة العلوم ، ولقد تم تأليف معظمها قبل عصر اينشتين ، ووجه كل اهتمامه إلى مشكلة البنية الهندسية للمكان . وهى واحدة من أهم اسهاماته الجادة ، ولذلك فهى ضرورية من أجل فهم الفيزياء الحديثة .

ونظرا لقيمتها سوف نوليها اهتمامنا الخاص وذلك بمناقشتها بشئ من التفصيل . كتب بوانكاريه يقول ، افترض أن الفيزيائيين اكتشفوا أن بنية المكان الفعلى قد حاد عن الهندسة الاقليدية . فلابد عندئذ أن يختاروا بين بديلين . إما أن يقبلوا الهندسة اللااقليدية باعتبارها وصفا جيدا للمكان الفيزيائى ، أو يحتفظوا بالهندسة الاقليدية مع تبنى قوانين حديثة تقرر أن كل الاجسام الصلبة تحتمل تقلصات وانبساطات معينة . وكما رأينا فى فصول سابقة ، إذ كنا بصدد القياس بقضيب صلب ، فلابد أن نضع فى حسباننا التقلصات أو التمددات التى قد تصيب القضيب بفعل الحرارة . وبطريقة مشابهة قال بوانكاريه لو اثبتت الملاحظات أن المكان لااقليدى ، فلابد للفيزيائيين أن يتمسكوا بالمكان الاقليدى ، وذلك عن طريق ادخال عوامل جديدة إلى نظرياتهم ـ وهى تلك العوامل التى تسبب تمدد أو تقلص الاجسام الصلبة تحت ظروف خاصة .

كما يمكن لقوانين حديثة أيضا أن تدخل مجال علم البصريات ، ذلك لأن فى امكاننا أيضا أن ندرس الهندسة الفيزيائية عن طريق الاشعاعات الضوئية . فمثل هذه الاشعاعات يفترض أنها تسير فى خطوط مستقيمة . ولعل القارئ يتذكر ان اضلاع مثلث جاوس الثلاثة ، لم تتكون من قضبان صلبة ، ولكنها تكونت من اشعاعات ضوئية لأن المسافات فيها طويلة للغاية . قال بوانكاريه ، افترض أن مجموع زوايا مثلث كبير من هذا النوع قد انحرفت عن ١٨٠ درجة . فبدلا من الاعتماد على الهندسة الاقليدية هنا ، علينا أن نقرر أن هذا الانحراف إنما يرجع إلى

ميل فى الاشعاعات الضوئية . فإذا أدخلنا قوانين حديثة تعالج انحراف اشعاعات الضوء ، لكان فى مقدرونا أن نفعل ذلك دائما مع الاحتفاظ بالهندسة الاقليدية .

وكان هذا تبصرا من بوانكاريه غاية فى الأهمية . وأخيرا سأحاول أن أشرح ما كان يعنيه بوانكاريه تماما ، وكيف يمكن تبرير ذلك . إذ أنه بالإضافة إلى البصيرة النفاذة بعيدة المدى ، تنبأ بوانكاريه بأن الفيزيائيين سوف يختارون دائما طريقا ثابتا . فقال بأنهم سوف يفضلون الاحتفاظ بالهندسة الاقليدية ، لأنها أكثر بساطة من اللااقليدية . وهو لم يعرف بالطبع المكان اللااقليدى المعقد الذى سيقترحه اينشتين بعد قليل . ومن المحتمل أنه قد نكر فقط فى الأمكنة اللااقليدية الابسط للمنحنى الثابت ، والا سيكون قد اعتقد بلا شك ، حتى ولو على نحو أقل ترجيحا ، إن الفزيائيين سوف يتخلون عن اقليدس .

وبالنسبة لاجراء تعديلات بسيطة فى القوانين المتعلقة بالاجسام الصلبة ، والاشعاعات الضوئية ، فقد بدا لبوانكاريه إن ذلك يمكن تبريره فى حالة الأرض ، لأنه سيحتفظ بالنسق الابسط لاقليدس ولسخرية القدر ، لم تمض إلا سنوات قليلة وكان اينشتين قد طور عام ١٩١٥ نظريته العامة فى النسبية ، والتى تبنت الهندسة اللااقليدية .

ومن الأهمية بمكان التعرف على وجهة نظر بوانكاريه ، لأنها تساعدنا على فهم الدواعى التى حدت باينشتين إلى تبنى تلك الهندسة . وبدلا من الاحصاءات والصياغات المعقدة ، سنحاول أن نجعل وجهة نظره واضحة بشكل بديهى .

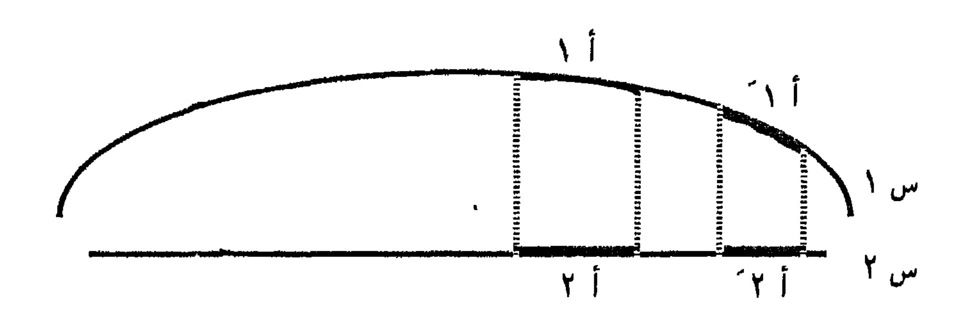
ولذلك يمكننا أن نتخيلها باستخدام حيلة سبق أن استخدامهـــا هيرمـان فـون هيليمهـولتز " Hermann Von Helmholtz " ، الفيزيائى الالمانى العظيم قبل أن يكتب بوانكاريه موضوع هذا البحث بعشرات السنين . فلقد أراد هيلمهولتز أن يبين إن جاوس كان على صواب فى ملاحظته للبنية الهندسية للمكان بوصفها مشكلة تجريبية . إذ قال دعنا نتخيل عالما ذا بعدين يمشى عليه كائنان ذو بعدين أيضا ، ويندفعان حول الأشياء . فمثل هذين المخلوقين ذواتى البعدين كمثل المخلوقات الوهمية المثيرة التى تخيلها أدوين أ . أبوت " Edwin A. Ab- botte " . فالأرض التى يعيشان عليها مسطحة ، ولا أعنى أنهما يقيمان على مسطح ، أو على سطح جسم كروى . إذ أن الجسم الكروى ضخم بالمقارنة بأحجامهما ، إذ أنهما فى حجم النمل والجسم الكروى فى ضخامة الأرض ، فهو ضخم بحيث لايستطيعان قطع المسافة حوله .

وبكلمات أخرى أن حركتهما محدودة فى منطقة محددة من سطح الجسم الكروى . والمسألة هى ، هل يستطيع هذان الكائنان عن طريق عمل مقاييس داخلية على سطحهما ذى البعدين ، أن يكتشفا إذا ما كان يقفان على مسطح أو سطح كروى أو نوع ما آخر من الأسطح ؟

أجاب هيلمهولتز بأنهما يستطيعان ذلك . فإذا تمكنا من عمل مثلث كبيرا جدا وقاما بقياس زوايا هذا المثلث ، ووجدا أنها تزيد عن ١٨٠ درجة ، لعرفا أنهما كانا على سطح ذى انحناء موجب ، وإذا وجدا نفس الانحناء الموجب فى كل نقطة من محيطهما ، لعرفا أنهما كانا على سطح جسم كروى أو على جزء من هذا الجسم الكروى . ( وسواء أكان الجسم الكروى كاملا أو غير كامل ، فهذه مسألة أخرى ) إذ أن الافتراض بأن عالمهما كله كان سطحا كرويا يمكن تعقله . أما نحن فاننا نستطيع بالطبع أن نرى ، من الوهلة الأولى ، مثل هذا السطح ، لأننا مخلوقات ذات أبعاد ثلاثة تقف خارج هذا السطح ومع ذلك فقد أوضح هيلمهولتز أن المخلوقات ذات البعدين يمكنها أيضا ، عن طريق قياس زوايا مثلث ، أو النسبة بين الدائرة واقطارها ( أو أية كميات أخرى مختلفة ) أن تحسب مقياس الانحناء فى كل مكان من أمكنة اسطحهم . إذن فقد كان جاوس على صواب . وحتى نتأكد من أنه قد استطاع أن يحدد ما إذا كانت أبعادنا الثلاثة للمكان ذات انحناء ايجابى أو سلبى عن طريق عمل مقاييس ، علينا أن نتخيل مكانا مطمورا " Imbedded " فى عالم ذى بعد أعلى " A higher Dimenional " ، وعندئذ يمكننا أن نتحدث عن ميل أو انحناء حقيقى لمكاننا ، لأنه سوف يبدو منحنيا بالنسبة لمخلوقات ذات أبعاد أربعة .

وعلينا أن نفحص هذا الأمر عن قرب أكثر . افترض أن هناك مخلوقات ذات بعدين وأن هذه المخلوقات تقيس المثلثات بقضبان قياس ، واكتشفت نفس الانحناء الموجب لمثلثات من نفس الحجم على نقاط مختلفة من المكان . وأن من بين هذه المخلوقات أثنين من الفيزيائيين ولنرمز إليهما بالرمز ف١ ، ف٢ . يصر الفيزيائى ف١ على النظرية ن١ ، التى تقرر أن المنطقة التى يعيش عليها هو وزملاؤه من المخلوقات ، تعد جزءا من سطح دائرى س١ . ويصر زميله الفيزيائى ف٢ على النظرية ن٢ ، التى تقرر أن المنطقة إنما هى سطح مستو س٢ . وهذان السطحان مرسومان ف فى الشكل ١٥ ـ ١ . ولنفترض وجود جسمين صلبين ذات بعدين يشبهان اثنين من المخلوقات على س١ ، وتوجد كذلك قضبان قياس تنقل من مكان لآخر دون تغير فى الجسم أو الشكل . ويوجد أيضا على س٢ نفس ما هو موجود على س١ ، ويتساقط عليه . وهذا الاسقاط مرسوم فى شكل خطوط متوازية متعامدة على السطح س٢ ( وتكون هذه

الخطوط المتوازية متقطعة ، كما هو مبين فى الرسم ) فإذا ما تحرك جسم فى س١ من النقطة أ١ إلى وأ١ ¯ ، فإن ظل الجسم الذى على س٢ يتحرك من أ٢ إلى أ٢ ¯ . وحيث أننا افترضنا أن الاجسام التى على س١ صلبة ، فلابد أن يكون طول أ ١ مساويا لطول أ ١ـ ، ولكن يعنى هذا أن أ ٢ـ لابد أن يكون أقصر من أ ٢ .




شكل ١٥ ـ ١

ولقد أشار هيلمهولتز إلى أننا عندما نقيس شيئا ما بقضيب قياس ، فاننا لانلاحظ بالفعل سوى سلسلة من المطابقات " Coincidences " . ويمكن أن نلمس هذا بسهولة فى المثال المتعلق بقياس حافة سور ، والذى سقناه فى بداية الفصل التاسع .

أنظر مرة أخرى الشكل ١٥ ـ ١ . يطلق على المسقط من س١ إلى س٢ ، مسقط خريطة واحد بواحد " A one-to-one " ( ولن يتسنى لنا فعل ذلك إذا كانت س١ كرة مكتملة ، ولكننا افترضنا أن س١ منطقة محددة فقط من دائرة ) ومن ثم يصبح لكل موضع على س١ ، مقابل له على س٢ ، ولذلك عندما تتحرك الكائنات التى على س١ ، نلاحظ ظل هذه الكائنات على س٢ . لأن من المفترض أن الاجسام التى على س١ تكون صلبة ، أما الاجسام المطابقة لها التى على س٢ فلايمكن أن تكون صلبة . إذ أنها تسمح بنوع من الانكماشات والتمددات كتلك التى سبق أن أوضحناها فى الشرح .

ولنعد الآن إلى الفيزيائيين ف١ ، ف٢ اللذين يأخذان بنظريتين مختلفتين عن طبيعة سطح عالـم كل منهما . يقرر أن هذا العالم إنما هو جزء من كرة ، بينما يصر ف٢ على أنه سطح مستو . أما تلك الاجسام التى تتمدد وتنكمش بطرق معينة ، فيمكن التكهن بها ، إذ أنها

تتحرك . فهى عندما تتحرك مثلا تجاه مركز س٢ تبدو أطول ، وعندما تتحرك بعيدا عـن المركز تبدو أقصر . ويؤكد ف١ على أن الاشعاعات الضوئية تأخذ شكلا جيوديسيا (١) على السطح المنحنى س١ ، ذلك لأنها تابعة لاقواس الدوائر الكبرى ، وأن هذه الأقواس تتساقط على س٢ بوصفها أقواسا اهليلجية ( بيضية ) . وإذا أراد ف٢ أن يدافع عن نظريته التى تقرر بأن العالم سطح مستو ، عليه أن يبتكر نظريات حديثة فى علم البصريات يؤكد بها على أن أشعة الضوء تتحرك فى مسارات اهليلجية .

إذن ماهى الوسيلة التى نستطيع أن نقرر عن طريقها أن أحد الفيزيائيين على صواب ؟ والاجابة هى ، أنه ليس ثمة وسيلة لهذا القرار . فالفيزيائى ف١ يؤكد على أن عالمه إنما هو جزء من سطح كرة ، وأن الاجسام التى على هذا السطح لاتعانى انكماشات أو تمددات فيما عدا الظواهر المألوفة ( أو بالأحرى ، النظائر ذات البعدين لمثل هذه الظواهر ) كالتمدد الحرارى ، والتمدد المطاطى ، وهكذا . أما الفيزيائى ف٢ فانه يصف نفس العالم ، وإنما بطريقة مختلفة . فهو يعتقد أنه سطح مستو ، وإن تمدد الاجسام وانكماشها بطرق معينة ، إنما يحدث عندما تتحرك هذه الاجسام فوق السطح . أما نحن الذين نحيا فى مكان ذى ثلاثة أبعاد ، نستطيع أن نلاحظ هذا العالم ذا البعدين ، ونقرر ما إذا كان سطحا كرويا أو مسطحا . ولكن العالمين حصرا نفسيهما فى عالميهما ، ومن ثم لايمكنهما من حيث المبدأ أن يقررا أى النظريتين على صواب .

ولهذا السبب ، قال بوانكاريه ، لاينبغى علينا أن نطرح هذا السؤال : أيهما على صواب ؟ إذ أن النظريتين مجرد طريقتين مختلفتين لوصف نفس العالم .

وهناك طرق أخرى لانهائية يمكن للعلماء الاستعانة بها فى وصف عالمهم ، ومن ثم تصبح المسألة ، طبقا لبوانكاريه مسألة مواضعة ؛ Convention " . فقد يأتى فيزيائى ثالث ويقدم نظرية خيالية تصور العالم على هذا النحو :

* * *

وقد يستطيع الدفاع عن نظريته عن طريق تقديم قوانين أكثر تعقيدا للميكانيكا وعلم البصريات ، ويمكن لهذه القوانين أن تجعل جميع الملاحظات متسقة مع النظرية . ولأسباب عملية بحتة لايوجد فيزيائى على وجه الأرض يرغب فى اقتراح مثل هذه النظرية . ولكن بوانكاريه يصر على أنه ليس ثمة مانع منطقى يمنعه من فعل ذلك .

ويمكننا أن نقول للفيزيائيين المتنافسين " لاحاجة بكما إلى التشاجر . أنكما تقدمان ببساطة

أوصافا مختلفة لنفس الوقائع الاجمالية " . ولعل القارئ يتذكر أن ليبنتز قد دافع منذ وقت ليس بقريب عن وجهة نظر شبيهة بتلك . فقد أعلن ليبنتز ، أنه إذا لم يكن لديك من حيث المبـدأ ، وسيلة للمفاضلة بين قضيتين ، فلاينبغى أن تقرر أن لهما معنيين مختلفين . فإذا تضاعفت أحجام كل الاجسام فى عالمنا هذا أثناء الليلة السابقة فهل سيبدو هذا العالم غريبا فى نظرنا ، الصباح التالى ؟ أعلن ليبنتز أنه لن يحدث ذلك . لأن حجم أجسامنا ذاته سوف يتضاعف ، ومن ثم نفقد الوسيلة التى عن طريقها يمكننا أن نلاحظ أن ثمة شيئا قد تغير . وبالمثل إذا تحرك الكون بكامله إلى جانب ما ، لمسافة عشرة أميال ، فاننا لن نلحظ هذا . وإذا أردنا أن نؤكد أن مثل هذا التغير قد حدث ، فإن تأكيدنا هذا يصبح بلا معنى . تبنى بوانكاريه وجهة نظر ليبنتز هذه ، وطبقها على البنية الهندسية للمكان . ومن ثم أصبح فى امكاننا أن نجد الدليل التجريبى الذى يقترح أن المكان الفيزيائى لااقليدى ، كما يمكننا دائما الاحتفاظ بالمكان الاقليدى الأكثر بساطة إذا كنا نرغب فى أن ندفع ثمنا له . وكما رأينا ، لم يعتقد بوانكاريه أن هذا الثمن يمكن أن يكون مرتفعا جدا .

وثمة نقطتان أساسيتان فى افتراضنا إن العالم مسطح ، قصدت أن أوضحهما ، وسوف أطبقهما على عالمنا الواقعى . الأولى هى طريقة استخدام اجراءات قياس معينة اعتدنا عليها ، وتوصلنا عن طريقها إلى نتيجة ، هى إن المكان ذا بنية لااقليدية . غير أن بعض الفلاسفة المحدثين ( مثل هوجو دنجلر Hugo Dingler ) أنكروا هذا ، واعتقدوا أن اجراءات قياسنا إنما تستخدم أدوات ، تعمل فى ظل الفرض القائل إن الهندسة اقليدية . ولهذا السبب لايمكن لهذه الادوات أن تعطينا سوى نتائج اقليدية . وبالتأكيد هذا الاعتقاد خاطئ . لأن أدواتنا إنما تشغل حيزا ضئيلا للغاية من المكان ، ومن ثم فإن انحرافها عن الهندسة الاقليدية لايمكن أن تدخل فى بنية هذا المكان . افترض مثلا أداة قياس الزوايا التى يستخدمها مساح الأراضى ، انها تشتمل على دائرة تنقسم إلى ٣٦٠ جزءاً متساويا ، ولأنها دائرة صغيرة فانها تنحرف عن المكان الاقليدى بدرجة واحدة ( مع العلم بأن هذه الدرجة أكبر بكثير من الانحراف الذى يبدو فى نظرية النسبية ) ، ومع ذلك فإن جاوس كان يحدوه الأمل فى أنه يستطيع أن يقيس بهذه الاداة دون التأثير على بنية هذه الدائرة . لاشك أن الهندسة الاقليدية صحيحة بدرجة تقريبية عالية جدا ، وفى المساحات المكانية القصيرة . ويتم التعبير عن هذا فى بعض الأحيان بالقول أن المكان اللااقليدى له نفس بنية المكان الاقليدى فى البيئات القصيرة . ومن وجهة نظر رياضية دقيقة ، ترجع هذه المسألة إلى حد المكان . فإذا كانت مساحة المكان أقل ، كانت البنية الانسب هى الاقليدية . أما مسألة أن أدواتنا المعملية تشغل مثل هذه الاجزاء الدقيقة من المكان ، فاننا

لانستطيع أن نلاحظ أى تأثير للمكان اللااقليدى قد يؤثر على بنيتها .

وحتى إذا كان الانحراف عن الهندسة الاقليدية كبيرا ، إلى الدرجة التى تجعل مجموع زوايا مثلث صغير ( مرسوم على ورق مقوى ) ، يختلف بدرجة كبيرة عن ١٨٠ درجة ، فانه يمكن بالتأكيد تقرير تلك الحقيقة بمساعدة أدوات صنعت بطريقة معتادة . افترض أن الكائنات التى تحيا على السطح الكروى س١ ( أنظر الشكل ١٥ ـ ١ ) قامت بصنع منقلة وذلك عن طريق قطع القرص الدائرى وتقسيم محيطه إلى ٣٦٠ جزءا متساويا . فإذا استخدمت هذه المنقلة فى قياس زوايا المثلث المرسوم ( فى المثال السابق ) سيتبين أن كل زاوية تساوى ٩٠ درجة ، ومن ثم يصبح مجموع الزوايا الثلاث ٢٧٠ درجة .

أما النقطة الثانية الأساسية فقد ظهرت عندما افترضنا عالما ذا بعدين ، فإذا وجدنا الدليل التجريبى للمكان اللااقليدى ، فيمكننا أن نحتفظ بالهندسة الاقليدية بشرط ادخال تعقيدات على القوانين التى تتحكم فى الاجسام الصلبة ، وقوانين الاشعاعات الضوئية . فإذا كنا ننظر من مكاننا إلى سطح آخر تمشى عليه نملة وتساءلنا عما إذا كان السطح مستويـا أو جزءا من كرة ، أو أى نموذج آخر ، فلابد أن يكون لهذا التساؤل معنى ، أما إذا تعاملنا مع المكان الذى نحيا فيه بحيث لايمكننا ملاحظة أى شئ ينتمى إلى عالم آخر ، فلامعنى أن نتساءل عما إذا كان هذا المكان لااقليديا أو عما إذا ينبغى لقوانينا أن تتعدل لتحافظ على الهندسة الاقليدية . وذلك لأن النظريتين عبارة عن وصفين ممكنين لنفس الوقائع . ويمكننا أن نطلق عليهما اسم وصفين متكافئين " لأننا نتنبأ بنفس التنبؤات فى كل منهما . فقد تكون النظريات مختلفة إلى حد بعيد فى بنائها المنطقى ، ولكن إذا أدت صورتها أو قوانينها إلى نفس التنبؤات عن الحوادث الملاحظة ، لأمكننا أن نقول أنها نظريات متكافئة .

ويستحسن عند هذه النقطة أن نميز بوضوح بين ما نعنيه هنا بهذه العبارة " نظريات متكافئة " وبين ما يعنيه البعض بها أحيانا . من حين لآخر يقترح أحد الفيزيائيين نظرية تختلف تماما عن نظرية فيزيائى آخر ، وذلك لتعليل نفس مجموعة الوقائع ، لكن من غير المحتمل أن تظل هاتان النظريتان على حالهما عند خضوعهما للملاحظة ، ويرجع ذلك إلى أنهما مـن الممكن أن يشتملا على تنبؤات تختلف عما يمكن أن تأتى به الملاحظة فى المستقبل . وحتى على الرغم من أن هاتين النظريتين قد تتمكنان من تعليل الملاحظات المعروفة ، إلا أنه ينبغى النظر إليهما بوصفهما نظريتين فيزيائيتين مختلفتين من حيث الجوهر .

وليس من اليسير أحيانا اجراء تجارب تمكننا من التمييز بين النظريتين المتنافستين غير المتكافئتين . والمثال التقليدى على ذلك هو نظرية الجاذبية لكل من نيوتن واينشتين . إن الاختلافات ضئيلة جدا فيما يختص بتنبؤات هاتين النظريتين ، ولذلك تم اجراء تجارب بارعة ومقاييس محكمة قبل الحكم على أفضلية أحدهما فى هذا الخصوص . وعندما اقترح اينشتين أخيرا نظريته فى المجال الموحد ، صرح بأنه كان عاجزا عن التفكير فى تجربة قاطعة تفاضل بين نظريته والنظريات الأخرى . وأوضح ذلك بقوله أن نظريته لم تكن متكافئة مع أية نظرية سابقة ، ولكنها صيغت بتجريد إلى الدرجة التى لم يستطع أن يستنتج منها أية نتائج يمكن اخضاعها للملاحظة بدرجة عالية من الدقة فى ظل أفضل أدواتنا الحالية . ولقد أعتقد أن نظريته فى المجال الموحد إذا خضعت للبحث أكثر من ذلك أو إذا تحسنت أدواتنا بما فيه الكفاية ، لكان فى مقدورنا ، فى يوم ما ، اجراء مثل هذه الملاحظة الحاسمة . غير أنه من المهم جدا أن ندرك إن هذه النظريات المكتافئة ، كما هى مستخدمة هنا ، إنما تعنى شيئا ما أكثر قوة من حقيقة أن النظريتين تعللان جميع الملاحظات المعروفة إذ أن التكافؤ هنا يعنى انتهاء النظريتين إلى نفس التنبؤات تماما فى جميع الحالات . وهذا شبيه بنظرية كل من الفيزيائيين فى تفسير الأرض المسطحة فى مثالنا السابق .

وفى الفصلين التاليين ، نتناول بالتفصيل كيف أدى تبصر بوانكاريه فى جعله نظريات المكان الاقليدية واللااقليدية متكافئة عند اخضاعها للملاحظة ، إلى تفهم أعمق لبنية المكان فى النظرية النسبية .

* * *

### هوامش

(١) أى تأخذ نفس شكل انحناء الأرض . ( المترجم ) .

## ☐ الفصل السادس عشر ☐

# المكان فى نظرية النسبية

طبقا لنظرية النسبية لاينشتين ، وكما ناقشنا ذلك فى الفصول السابقة ، تنحرف بنية المكان فى المجالات الجاذبية عن بنية الهندسة الاقليدية . وإذا لم يكن المجال الجاذبى كبيرا إلى حد بعيد ، فمن الصعب ملاحظة مثل هذه الانحرافات . وحيث أن المجال الجاذبى للكرة الأرضية ضعيف للغاية ، فلايمكن أن نكتشف ، وحتى بأفضل الادوات المتاحة أى انحراف عن البنية الاقليدية . أما إذا كانت المجالات الجاذبية قوية مثل تلك التى تحيط بالشمس أو النجوم التى تعد كتلتها أكبـر من الشمس ، فاننا نلحظ انحرافات معينة عن الهندسة الاقليدية .

ونجد أحيانا فى الكتب الشعبية التى تتناول نظرية النسبية ، كما نجد أيضا فى العديد من الكتب الأخرى التى تناقش هذا الموضوع ، عبارات مضللة ، فقد نقرأ فى صفحة ما أن نظرية اينشتين تقرر أن بنية المكان فى المجال الجاذبى لااقليدى ، ونقرأ فى صفحة أخرى ، وربما فى نفس الصفحة أنه طبقا لنظرية النسبية ، فان القضبان تنكمش فى المجال الجاذبى ( والواقع إن هذا ليس هو الانكماش الذى يطلق عليه أحيانا اسم انكماش لورنتز ( Lorentz-Contraction ) الذى يؤثر على القضبان المتحركة ، وإنما هو انكماش القضبان الساكنة فى مجال جاذبى ) .

وينبغى أن يكون واضحا تماما أن هاتين العبارتين لاتصدقان معا . ولكن كل منهما صادقة على حدة ، ولايمكن أن يقال عن إحداهما أنها كاذبة . ومن ثم يكون المؤلف على صواب فى صفحة ، ويكون أيضا على صواب فى صفحة أخرى . ولكن لاينبغى ذكر العبارتين فى صفحتين فى نفس الفصل . إذ أنهما ينتميان إلى لغتين مختلفتين ، وينبغى على المؤلف الذى يتحدث عن نظرية النسبية أن يحدد أى لغة منهما يقصد . فإذا أراد أن يتحدث بلغة اقليدية ، كان من المناسب تماما الحديث عن انكماش قضيب فى مجال جاذبى ، ولكن لايحق له الحديث فى نفس الوقت عن بنية لااقليدية للمكان . أما إذا اختار أن يتبنى لغة لااقليدية ، فلايحق له الحديث

عن الانكماشات . إذ تتزود كل لغة منهما بشرعية خاصة عند الحديث عن المجالات الجاذبية ، ولكن الخلط بين اللغتين فى نفس الفصل يسبب اضطرابا شديدا للقارئ .

ولعلنا نتذكر ، عندما كنا بصدد مناقشة العالم المسطح ، أننا تخيلنا عالمين فى الفيزياء لكل منهما نظرية مختلفة عن الأخرى فى طبيعة عالم كل منهما . وقد اتضح فى الحقيقة ، تكافؤ هاتين النظريتين ، وأن اختلافهما إنما ينحصر فى كونهما طريقتين مختلفتين فى وصف نفس اجمالى الوقائع وينطبق هذا الموقف أيضا على نظرية النسبية . ولذلك فاننا سوف نرمز للوصف الأول ـ اللااقليدى ـ بالمرمز ت١ ، والآخر ـ الاقليدى ـ بالرمز ت٢ .

فإذا وقع اختيارنا على اللغة ت١ ـ وهى لغة لااقليدية ـ ، فإن قوانين الميكانيكا والبصريات تظل كما هى فى فيزياء ما قبل اينشتين . أى تظل الجوامد صلبة عدا استثناءات معينة مثل التمددات والتغيرات الحرارية تحدث عن طريق المغنطة ، وهكذا . ومثل هذه الاستثناءات جزء لايتجزأ من الفيزياء الكلاسيكية ، ويتم معالجتها دائما عن طريق ادخال عوامل تصحيح مختلفة فى تعريف الطول . وربما يتقرر مثلا ، أن مقياس قضيب معين هو مستوى وحدة الطول لأن من المعروف إن الحديد يتمدد عند تسخينه ، ويمثل الحديد هذه الوحدة من الطول فقط ، عندما تكون له درجة حرارة معينة " عادية " وهى ت صفر . ويمكن للقضيب بالطبع أن تكون له درجة حرارة أخرى ت فى أى زمن آخر مفترض ، بحيث تختلف عن الدرجة ت صفر . ولذلك إذا كنا بصدد تعريف طول مستوى قضيب فى درجة الحرارة ت ، فلابد أن يتضاعف الطول المعتاد للقضيب ل صفر عن طريق عامل التصحيح ، كما سبق أن شرحنا ذلك فى الفصل السابع . ولقد عبرنا فى ذلك الفصل عن هذا العامل على هذا النحو ١+ بيتا ( ت - ت صفر ) حيث تعتمد قيمة بيتا على مادة القضيب . ومن ثم يصبح تعريف الطول ل هكذا :

١ = ل صفر [ ١ + بيتا ( ت ـ ت صفر ) ]

وفى نموذج مشابه ، ينبغى أن يؤخذ فى الاعتبار القوى الأخرى التى يمكن أن تؤثر على طول القضيب ، ولكن ليس من بينها الجاذبية . ففيما يتعلق بالضوء ، تقرر اللغة ت١ أن مسارات أشعة الضوء فى الفضاء " Vacuum " ( الخالى من الهواء والمادة ) تكون دائما فى خطوط مستقيمة . فهى لاتنثنى أو تنحرف بسبب المجالات الجاذبية على أى نحو . أما الوصف البديل ت٢ فانه يحتفظ بالهندسة الاقليدية . ويمكن أن تؤخذ فى الاعتبار الاراء التى تقترح مكانا لااقليديا إذا أجرينا تعديلات فى قوانين البصريات والميكانيكا الكلاسيكية .

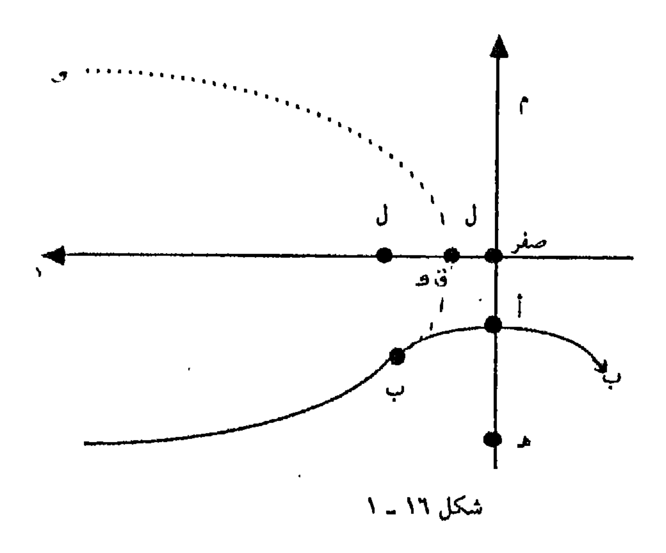
وحتى نستطيع ادراك كيفية انطباق هذين الوصفين على بنية سطح مستو فى مكان فيزيائى وكما هو متطور فى نظرية النسبية لاينشتين ، علينا أن نفترض مرور السطح المستوى س فى مركز الشمس . وطبقا لنظرية النسبية ، تبين الاختبارات المتعلقة بالمشاهدة ، في حالة كونها ملائمة ، إن مجموع زوايا المثلث المرسوم على هذا السطح خارج الشمس ، أقل من ١٨٠ درجة . وبالمثل تكون نسبة محيط الدائرة المرسومة على هذا السطح خارج الشمس ، إلى نصف قطرها أكبر من باى . أما القياسات التى تجرى داخل الشمس ، فانها تظهر انحرافات عكسية .

ولكى نجعل بنية هذا السطح المستوى أكثر وضوحا بالحدس ، كما نرى كيف يمكن لهذه البنية أن توصف بلغتين متنافستين ت١ ، ت٢ ، علينا أن نستخدم نموذجا للمكان الاقليدى ،نضعه على بنية السطح اللااقليدى السالف الذكر ، بحيث ينطبق عليه تماما . وهذا النموذج إنما هو سطح منحنى معين س للبنية التى سبق أن وصفناها .

إن المنحنى د ب جـ فى النظام الاحداثى د م ( أنظر الشكل ١٦ ـ ١ ) يعد قوسا للقطع المكافئ الذى يعتبر م هو خطه الدليلى ( إذ أن المنحنى ينشأ من نقطة متحركة ولذلك فإن مسافتها العمودية من الخط الدليلى ، تساوى دائما نفس مسافتها من النقطة و ، التى هى بؤرة القطع المكافئ ) ، كما أن ق تعد قمة رأس القطع المكافئ ، وتكون المسافة ل متناسبة مع كتلة الشمس . ويعد القوس أ ب قوسا للدائرة التى مركزها هـ ، وهى على المحور ـ م ، وهى مرسومة بحيث يمر القوس بسهولة على القطع المكافئ ، ويعنى هذا أن الخط المماس للدائرة ن ، والخط المماس للقطع المكافئ ت ، يتطابقان . ( ويطلق على ب اسم نقطة انعطاف المنحنى أ ب جـ ) . افترض أن هذا المنحنى الاملس أ ب جـ يدور حول محور ـ م ، فينتج عنه سطح شبيه بسطح تل . إن هذا السطح س¯ هو الذى سوف يستخدم بوصفه نموذجا اقليديا لسطح لااقليدى يمر خلال مركز الشمس .

ويلاحظ أن جزء السطح القريب من قمة التل ب¯ أ ب ، دائرى الشكل ومحدب ، إذ أنه يتطابق مع جزء السطح المستوى داخل الشمس . كما يلاحظ أن المنحنى هنا ثابت وموجب . ( تتناول الكتب التى تتحدث عن نظرية النسبية فقط هذه النقطة ، لأن القليل من الفيزيائيين هم الذين يهتمون بالبنية الهندسية للمكان داخل كتلة ضخمة مثل الشمس . ولكنها نقطة نظرية هامة ، وسوف تؤخذ فى الاعتبار فيما بعد ، عندما يتم فحص مثلث من أشعة الضوء خارج

الشمس ) كما يلاحظ أن السطح المرسوم خارج القمة الدائرية للتل يكون مسطحا مقعرا شبيها بسطح السرج ، ويكون هذا المنحنى سالبا بالطبع ، ولكنه على خلاف الهندسة اللوباتشفسكيـة لايكون ثابتا . أما إذا ابتعدنا كثيرا عن مركز التل ، يصبح القطع المكافئ مشابها أكثر فأكثر للخط المستقيم . ويكون المنحنى مغايرا للصفر بشكل ملحوظ فى المواقع التى لاتبتعد عن الجزء الدائرى للسطح . وينطبق سطح المنحنى السلبى لهذا الجزء على جزء السطح المستوى خارج الشمس . كما أن الاقتراب الحالى من الشمس يجعل المنحنى السلبى مغايرا للصفر أكثر . أما

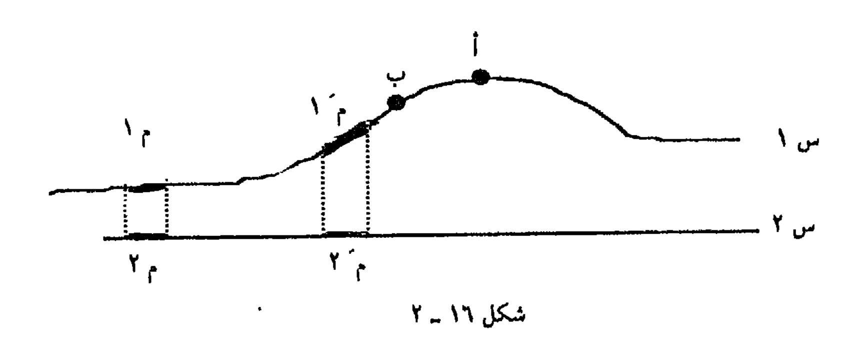



شكل ١٦ ـ ١

إذا ابتعدنا أكثر فأكثر عن الشمس ، فانه يقترب من الصفر ولكنه لايصل أبدا إلى الصفر إلا إذا ابتعدنا بشكل كاف عن الشمس ـ ويجدر بنا أن نلاحظ إن مقدار الانحناء ، فى الرسم البيانى ، مبالغ فيه بشكل كبير . لأنه إذا كان مقياس الرسم أكثر دقة ، لاقترب المنحنى إلى الخط المستقيم بحيث لايمكننا ملاحظة الانحناء ومن ثم فإن المقدار الكمى مفترض هنا فقط .

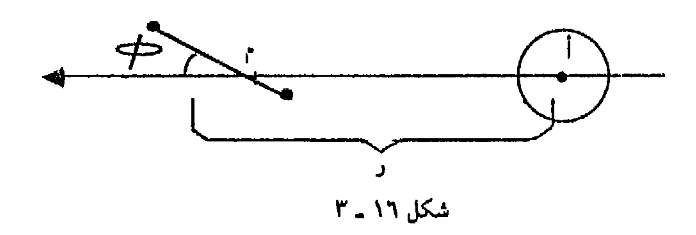
ويمكننا الآن مقارنة النظريتين ت١ و ت٢ ـ اللااقليدية والاقليدية ـ بوصفهما ينطبقان على بناء السطح المار بمركز الشمس . ويمكننا أن نفعل هنا مثلما فعل هيلمهولتز ، أى نستخدم منحنى السطح الشبيه بالتل ، كما هو مبين فى النموذج . وقد سبق الحديث عنه بوصفه سطحا اقليديا ، ولكنه يستخدم الآن بوصفه سطحا لااقليديا . وتمثل س ١ الصورة الجانبية لهذا السطح ، كما هو مبين فى الشكل ١٦ ـ ٢ ، كما يمثل الخط المستقيم س٢ سطحا اقليديـا مماثلا . وكما سبق أن فعلنا من قبل ، نرسم خطوطا متوازية ( وهى الخطوط المتقطعة ) من س١ إلى س٢ . لاحظ أنه إذا تحرك القضيب من الموقع م١ إلى م١ ، ويكون ذلك من موقع بعيد عن

لشمس إلى موقع قريب جدا منها ، لاينكمش القضيب ، لأن وصف الحادث يكون فى لغة الهندسة اللااقليدية . ولكن إذا استخدمنا لغة النظرية ت٢ الاقليدية ، التى تعتمد على السطح س٢ ، فإن القضيب ينكمش عند تحركه من م٢ إلى م٢ـ . وينبغى اضافة القوانين الحديثة التى تذكر أن جميع القضبان ، تعانى انكماشات معينة عندما تقترب من الشمس فى الاتجاه الاصلى




شكل ١٦ ـ ٢

لها ، أى الاتجاه نحو مركز الشمس . ويصور الشكل ١٦ ـ ٣ الموقف من أعلى بدلا من الجزء المتقاطع ، وتكون الدائرة التى مركزها أ هى الشمس ، أما القضيب فهو فى الموقع م ، وتقع الزاوية بين القضيب والاتجاه الاصلى . ويعتمد انكماش القضيب ، طبقا لمصطلحات النظرية ت٢ ، على هذه الزاوية ويمكن تغطية هذا الانكماش عن طريق قانون عام . ويذكر هذا القانون




شكل ١٦ ـ ٣

أنه إذا كان لقضيب ما الطول ل صفر ، فإنه عندما يتحرك بعيدا عن أى مجال جاذبى ، فلابد أن ينجذب إلى الموقع م ( بشرط أن تظل درجة الحرارة والشروط الأخرى بلاتغيير ) فى المسافة ر من الجسم ت . فإذا كانت الكتلة ك بزاوية الاتجاه الأصلى $\varnothing$ ، فانه سوف ينكمش إلى الطول :

$$\text{ل صفر} \left\{ ١ - ن \left( \frac{ك}{ر} \text{ جيب تمام}^{٢} \varnothing \right) \right\}$$

حيث أن تعد ثابتا معينا . ولأن هذا القانون عام ، مثل قانون التمدد الحرارى ، فلابد أن نضعه

في الاعتبار عند قياس القضيب ، فهو يستخدم بوصفه مستوى الطول الذى تم تعريفه . ولذلك ينبغى أن يدخل عامل التصحيح الجديد فى المعادلة السابقة ، ومن ثم يصبح التعريف على هذا النحو :

١ = ل صفر { ١ + ب ( ت ـ ت صفر ) } { ١ ـ ن ( ك / ر ) جيب تمام ∅ ٢ }

فإذا احتفظنا بالمسافة ر ثابتة ، وغيرنا الزاوية ∅ ، وكان القضيب فى الاتجاه الأصلى ، لكانت الزاوية ∅ تساوى صفرا ، ويصبح جيب التمام واحدا ، ومن ثم يمكن حذف جيب التمام ∅ من المعادلة . وقد يصل الانكماش فى هذه الحالة إلى قيمته القصوى . فإذا كانت ∅ زاوية قائمة ، تكون زاوية الجيب صفرا ، وهنا يختفى عامل التصحيح تماما . وبكلمات أخرى ، لايمكن للقضيب أن ينكمش ، عندما يكون متعامدا على الاتجاه الأصلى . ويتغير مقدار الانكماش ، فى مواقع أخرى ، بين الصفر والحد الأقصى .

مع العلم بأن قيمة الثابت ن ضئيلة جدا ، فإذا كانت المقادير تقاس طبقا لنظام س ج ث ( السنتيمتر ، الجرام ، والثانية ) ، فإن قيمة ن تكون ٣ر٧ × ١٠ ^٢٩^ ، وهذا يعنى وجود ٢٨ صفر مضروبا ٣٧ مرة خلف النقطة العشرية ، ومن ثم يتضح إن هذه القيمة ضئيلة إلى حد بعيد . وحتى إذا كانت هناك كتلة ضخمة مثل الشمس ( ١ر٩٨ × ١٠ ^٣٣^ من الجرامات ) وجعلنا ر ضئيلة قدر المستطاع وذلك عن طريق اقترابها من سطح الشمس ، فان ر تساوى عندئذ نصف قطر الشمس أ ب ( ٦ر٩٥ × ١٠ ^١٥^ سم ) ، وسيظل التأثير ضئيلا جدا . لأن انكماش القضيب القريب من سطح الشمس فى الاتجاه الأصلى ، هو فى الحقيقة :

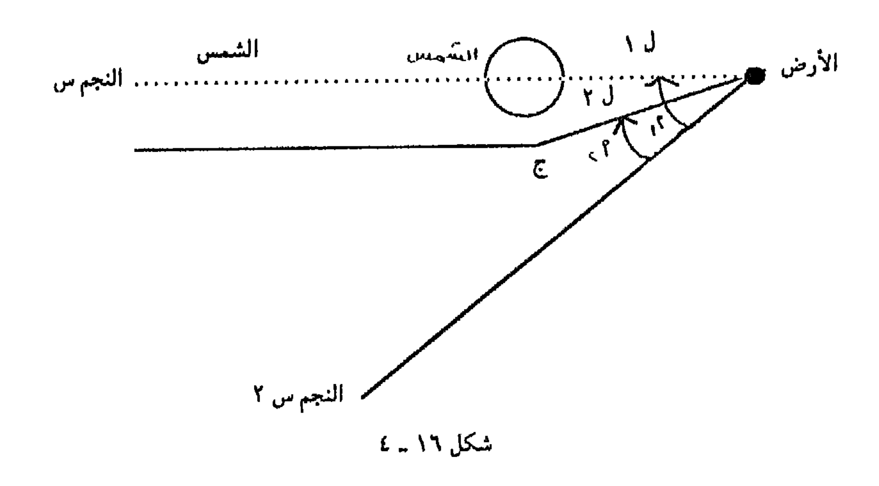
ن ( ك / ر صفر ) = و ٠٠٠٠٠٠ ١١ .

ومن ثم يتضح أن الخطوط البيانية فى الشكلين ١٦ ـ ١ ، ١٦ ـ ٢ مبالغ فيهما إلى حد بعيد . إذ أن بنية السطح المستوى المار فى مركز الشمس هى نفسها ، وبشكل عملى ، بينة السطح الاقليدى المستوى ، ولكن هناك انحرافات دقيقة ، كما سيتبين فيما بعد ، كما أن هناك اجراءات تجريبية لملاحظة الانحرافات .

والنقطة الهامة التى ينبغى أن ندركها هنا ـ وهى النقطة التى أكد عليها بوانكاريه ـ هى أن

سلوك قضبان القياس فى مجالات جاذبية يمكن وصفها بطريقتين مختلفتين تماما . كما يمكن الاحتفاظ بالهندسة الاقليدية إذا قمنا بادخال قوانين فيزيائية حديثة ، أو يمكن الاحتفاظ بصلابة الاجسام إذا تبينا هندسة لااقليدية . ومن ثم فاننا نكون احرارا فى اختيار الهندسة التى نرغب فى اختيارها للمكان الفيزيائى بشرط أن نتزود بالارادة التى تجعل أدوات الضبط ضرورية فى القوانين الفيزيائية .

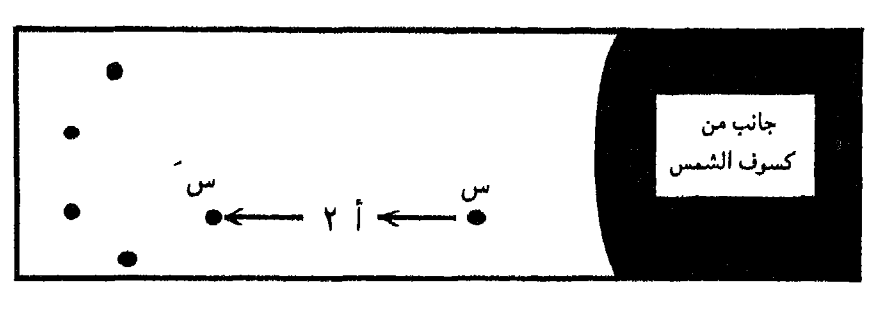
ولاينسحب هذا الضبط على القوانين المتعلقة بالاجسام الفيزيائية فحسب ، وإنما ينسحب أيضا على القوانين المتعلقة بعلم البصريات . ويمكن أن ندرك هذا إذا افترضنا مسار شعاع صادر من نجم بعيد يمر بالقرب من الشمس ويتجه إلى الأرض . ويبين الشكل ١٦ ـ ٤ وجود الأرض التى على اليمين وقرص الشمس فى المركز . عندما لاتكون الشمس فى الموقع المبـين ، يأتى الضوء من النجم س ( وهو النجم الذى فى أقصى اليسار ) ويصل بشكل طبيعى إلى الأرض عن طريق الخط المستقيم ل١ . أما إذا كانت الشمس فى الموقع المبين ، فإن الضوء المنبعث من النجم فى جـ ينحرف ، ومن ثم فهو يأخذ المسار ل ٢ . أما النجم س فلأنه بعيد ، بحيث يمكننا ملاحظة مسار كل من ل١ و ل٢ ( وهو الجزء الذى يقع على يسار النقطة جـ ) بوصفهما متوازيين . ولكن إذا قاس عالم الفلك الزاوية أ٢ التى تقع بين النجم س والنجم الآخر




شكل ١٦ ـ ٤

س ٢ فسوف يجد أنها أصغر من الزاوية أ ١ بمقدار ضئيل جدا . ومن ثم يبدو أن النجم س ، كما هو مشاهد من الأرض ، قد انحرف بشكل طفيف تجاه النجم س٢ . وهذه بالطبع ملاحظة امبيريقية ، وهى بالفعل واحدة من أهم البراهين الامبيريقية لنظرية اينشتين .

ولأن ضوء الشمس قوى ، فانه يمكننا رؤية أو تصوير النجوم التى تقع بالقرب من حوافها فقط ، وذلك أثناء كسوف الشمس . ومثل هذه الصورة شبيهة إلى حد ما بالرسم المبين بالشكل ١٦ ـ ٥ . وهو يشير إلى موضع النجم س بنقطة ، أما النجوم الأخرى ، بما فيها النجم س¯ فيشار إليها بنقاط أخرى . وتحدد الزاوية الواقعة بين أشعة الضوء الصادرة من س ، س¯ عن طريق قياس المسافة بين س و س¯ المبينة على اللوحة الفوتوغرافية . ويمكن مقارنه هذه المسافة بمسافة أخرى إذا أخذت الصورة الفوتوغرافية فى وقت آخر ، وكانت الشمس فى موضع ما آخر . ولقد أجريت مثل هذه الاختبارات التاريخية لأول مرة عام ١٩١٩ ، وأعيد اجراؤها فى العديد من الكسوفات المتأخرة ، وقد أسفرت عن بيان انحراف ضئيل جدا فى مواضع النجوم




شكل ١٦ ـ ٥

التى تقترب من قرص الشمس ، ومن ثم تحقق تنبؤ اينشتين الذى يقرر أن أشعة الضوء المارة بالقرب من الشمس لابد أن تنحرف بفعل قوى المجال الجاذبى للشمس .

ولقد أجرى فيندلاى فروندليتش " Findlay Freundlich " هذه القياسات لأول مرة من برج اينشتين فى بوتسدام ، الذى يقع بالقرب من برلين . وكنت فى ذلك الوقت أقيم فى فيينا ، وأتذكر أن هانز ريشنباخ قام بزيارة إلى برلين ، وتوجهنا سويا لرؤية فروندليتش وهو يعمل فى الدور الأسفل من البرج . ولقد أمضى عدة أيام يجرى قياسات دقيقة لجميع مواضع النجوم ، وكان ذلك على لوح فوتوغرافى مساحته حوالى عشر بوصات مربعة . وبمساعدة ميكروسكوب ، تمكن من اجراء قياسات متكررة لاحداثيات كل نجم ، وبعد ذلك أخذ متوسط تلك القياسات ،

لكى يحصل على أدق تقدير ممكن لموضع النجم . ورفض أن يسمح لأى من مساعديه باجراء هذه القياسات ، فأجراها بنفسه ادراكا منه للأهمية التاريخية القصوى لهذا الاختبار . وأعلن فى النهاية أنه على الرغم من ان الانحراف الذى اكتشفه ضئيل للغاية إلا أن المهم هو اكتشافه . من ثم كان هذا الاختبار تأييدا دراميا لنظرية اينشتين .

وهذا الموقف الذى يتعلق بانحراف أشعة الضوء بسبب المجال الجاذبى ، لهو شبيه بالموقف المتعلق بالانكماش الواضح للاجسام الفيزيائية . وهنا مرة أخرى علينا أن نختار بين نظريتين لتفسير النتائج الامبيريقية ، وكلاهما صحيح . فإذا اخترنا النظرية ت٢ ( التى تتبنى الهندسة الاقليدية ) ، فاننا نضيف قوانين حديثة متعلقة بالبصريات ، تصف لنا انحراف الضوء فى مجالات جاذبية . ومن ناحية أخرى إذا اخترنا النظريات ت١ ( التى تتبنى الهندسة اللااقليدية ) علينا أن نحتفظ بالغرض الكلاسيكى الذى يقرر أن الضوء لاينحرف فى الفضاء بسبب المجالات الجاذبية . وسوف نقوم بتفسير ذلك فى الفصل التالى .

ومن الأهمية بمكان أن نفهم طبيعة هذا الاختبار بشكل كامل قبل أن نسأل عن ماهية البنية الهندسية للمكان . اعتقد أن غموض هذه المسألة ، والتعبير الموجز للردود التى قال بها بوانكاريه وآخرون ، أدت إلى اساءات تفسير لموقفهم إلى حد ما ( ريشنباخ مثلا ) . ولقد قال بوانكاريه أن الفيزيائى يمكنه أن يختار بين هندسة اقليدية وأى شكل آخر من هندسة لااقليدية . ولأن بوانكاريه ذهب إلى أن مسألة الاختبار إنما هى مسألة مواضعة ، فقد أصبحت وجهة نظره معروفة بوجهة النظر المواضعية . وفى رأيى أن بوانكاريه كان يعنى بعملية الاختبار هذه أن على الفيزيائى أن يختار قبل أ يقرر أى الطرق التى ينبغى اتباعها فى قياس الطول . أما بعد عملية الاختبار فانه يستطيع أن يكيف منهجه فى القياس ، وهذا يقوده إلى نموذج الهندسة التى سبق أن اختارها . فإذا ما تم قبول منهج القياس مرة واحدة ، فإن مسألة بنية المكان ، تصبح مسألة امبيريقية تقرر بالملاحظات . وعلى الرغم من أن بوانكاريه لم يكن واضحا على الدوام فى هذه النقطة ، إلا أن سياق كتاباته تشير إلى هذا المعنى . وفى رأيى أنه ليس ثمة اختلاف بين ريشنباخ وبوانكاريه فى هذه المسألة . صحيح أن ريشنباخ قد انتقد بوانكاريه لكونه مواضعيا لم ير المظهر الامبيريقى للمسألة التى تدور حول البنية الهندسية للمكان ، ولكن الحقيقة أن بوانكاريه كان معنيا فقط بالاختبار المبدئى لعالم الفيزياء ( الهندسية ) وكان حديثه فى ذلك موجزا . ولكن كليهما رأى بوضوح أنه إذا تم ولو لمرة واحدة تبنى طريقة مناسبة للقياس ، فإن مسألة البنية الهندسية للمكان تصبح مشكلة امبيريقية لاتحل إلا باجراء الملاحظات المناسبة .

غير أن المظهر الامبيريقى لهذه المشكلة قد ظهر بوضوح حينما طرح سؤال هام فى السنوات القليلة الماضية ، وكان قد نوقش كثيرا فى السنوات المبكرة النظرية النسبية ، وهذا السؤال هو : هل الفضاء الكلى للكون نهائى أم غير نهائى ؟ وكما أشرنا من قبل ، فإن اينشتين قد اقترح ذات مرة نموذجا للكون اعتقد فيه أنه مماثل لسطح جسم كروى . فإذا كان هناك مخلوقان يبعدان عن بعضهما البعض على هذا السطح الكروى ، فإنه يبدو لكل منهما بوصفه نهائيا وغير محدود ، فهو نهائى لأنه سطح مكتمل تم اكتشافه ، وأمكن حساب مساحته ، وهو غير محدود بمعنى أنه يمكن للشخص أن يتحرك دائما فى أى اتجاه ومن أى موقع دون أن يعترضه حد من أى نوع . إذ أن المكان فى نموذج اينشتين ثلاثى الأبعاد ، نظر إليه من وجهة نظر رباعية الأبعاد ، وهو مكان منحنى موجب ، ومن ثم فهو ينغلق على نفسه مثلما ينغلق سطح الجسم الكروى . فإذا انطلقت سفينة فضاء من أى اتجاه فى خط مستقيم ، فأنها تعود فى نهاية الأمر إلى التنقطة التى بدأت منها . وهذا شبيه بطائرة تتخرك فى محازاة الدائرة الكبرى للكرة الأرضية ، فانها تعود إلى حيث بدأت . وكان هناك تخمين بأنه يمكن رؤية مجرة إذا ما تم وضع تليسكوب قوى فى الاتجاه المقابل لتلك المجرة .

إذن كيف تسنى لأينشتين أن يفكر فى الكون المكتمل بوصفه كونا منحنيا موجبا ، وهو يؤكد فى نفس الوقت أن المنحنى لابد أن يكون سالبا فى المجالات الجاذبية ؟ الحقيقة أن هذه المسألة ، تظل بالنسبة لعالم الفيزياء ، مهمة عقلية عسيرة ، ولكنها ذات أهمية . والاجابة ليست صعبة ، ولكن ربما يكون السؤال فى حد ذاته محيرا إذا لم نفكر فيه بعمق . افترض مثلا سطح كرة أرضية ،لابد أن يكون له منحنى موجب مكتمل . ومع ذلك فإن هذا السطح ملئ بالوديان ذات الانحناءات السالبة . وبالمثل ، نموذج اينشتين الكونى يحتوى على وديان " ذات انحناءات سالبة فى مجالات جاذبية قوية ، ولكنه يستعيد توازنه عن طريق انحناءات موجبة أقوى ، وذلك من خلال كتل ضخمة مثل النجوم الثابتة . فمثل هذه النجوم فى الكون تماثل قمم الجبال ذات الانحناءات الموجبة القوية على سطح الأرض ولقد كان مقدراً أنه يمكن أن يكون للكون انحناء موجب كامل فقط إذا كان معدل كثافة كتلة عاليا بقدر كاف . واليوم ، وبعد الفرضية التى تقول بتمدد الكون ، والحسابات الحالية لكمية المادة فى العالم جعلت النموذج النهائى المغلق الذى قال به اينشتين يبدو بعيد الاحتمال . وربما تظل المسألة معلقة ، لأن هناك قدرا كبيرا من اللاتعيين حول مقاييس الكتل والمسافات ، كما أن الهيدروجين ربما ينتشر فيما كان يعتقد سابقا أن المكان الخالى " Empty Space " ، وسوف يزيد هذا من معدل كثافة كتلـة الكون . على أية حال ، حلم اينشتين الجميل بالعالم المغلق ، وغير المحدود ، يبدو بالتأكيد

الآن أقل احتمالا مما كان عليه وقتما افترضه لأول مرة . غير أن النقطة التى أشدد عليها هنا هى أن الدليل الذى يؤيد أو يعارض هذه النموذج الكونى ، إنما هو دليل امبيريقى . وفى الوقت الحالى ، وعلى الرغم من أن هناك قبولا عاما للهندسة اللااقليدية التى تبننها نظرية النسبية ، إلا أنه ليس ثمة نموذج كونى وحيد يقبله جميع الفلكيين والفيزيائيين .

وكما رأينا ، لقد كان فى استطاعة الفيزيائيين أن يحتفظوا بالهندسة الاقليدية ( كما تنبأ بوانكاريه خطأ أنهم سيفعلون ) كما كان فى استطاعتهم أن يفسروا الملاحظات الحديثة عن طريق ادخال عوامل تصحيح حديثة إلى القوانين الميكانيكية والبصرية . ولكنهم بدلا من ذلك أختاروا أن يتبعوا اينشتين فى استبعاده للهندسة الاقليدية . فعلى أى اساس اتخذوا مثل هذا القرار ؟ هل كان ذلك لدواعى البساطة ؟ إذا كان الأمر كذلك ، فأى بساطة يعنون ؟ إن الأطروحة الاقليدية أبسط بكثير فى الهندسة ، ولكنها أعتقد بكثير فى القوانين الفيزيائية . كما أن الأطروحة اللااقليدية اعقد بكثير فى الهندسة ، ولكنها أبسط بكثير فى القوانين الفيزيائية . إذن كيف يمكن اتخاذ قرار فى تبنى أطروحة منهما واستبعاد الأخرى على الرغم من أن كلتيهما أبسط من الأخرى من جهة ما ؟ ولسوف تنصب محاولتنا فى الفصل التالى على الاجابة عن هذا السؤال .

***

## الفصل السابع عشر

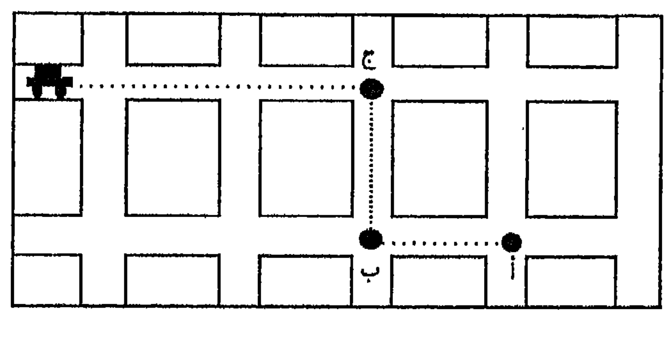
# فوائد الهندسة الفيزيائية اللاإقليدية

إذا كنا بصدد البحث عن قاعدة يتم على أساسها الاختيار بين بنية هندسة اقليدية أو لااقليدية للمكان الفيزيائى ، فلابد أن تتملكنا رغبة مبدئية فى أن نختار الأطروحة التى تزودنا بأبسط منهج لقياس الطول . وبكلمات أخرى ، علينا أن نتجنب قدر المستطاع ، ادخال عوامل تصحيح إلى مناهج القياس . ولسوء الحظ إذا أخذنا بهذه القاعدة حرفيا ، لتوصلنا إلى نتائج خيالية . إن أبسط وسيلة لقياس الطول هى أن نختار قضيب قياس ثم نعرف وحدة الطول طبقا لطول ذلك القضيب ، دون ادخال أية عوامل تصحيح على الاطلاق . وبغض النظر عن درجة حرارة القضيب ، أما إذا كان ممغنطا أو مطاطا ، وبغض النظر عما إذا كان فى مجال جاذبى قوى أو ضعيف ، بغض النظر عن كل هذا ، فاننا نأخذه بوصفه وحدة للطول . وكما أوضحنا من قبل ، ليس ثمة تناقض منطقى فى أن تبنى وحدة الطول هذه ، أو أن نجد طريقة أخرى لاستبعاد هذا الاختيار عن طريق وقائع مشاهدة . ومع ذلك ، ينبغى أن ندفع ثمنا غاليا لمثل هذا الاختيار ، لأنه يؤدى إلى صورة غريبة للعالم ، ومعقدة بشكل لايمكن تصديقه . ومن الضرورى أن نقول ، على سبيل المثال ، أنه عند وضع وهج على هذا القضيب فكل الموضوعات الأخرى فى الكون ، بما فى ذلك الاجرام الأكثر بعدا ، تنكمش فى الحال . ولنا أن نتوقع أنه لايمكن لفيزيائى أن يقبل تبنى أبسط تعريف ممكن للطول ، ويؤدى فى نفس الوقت إلى نتائج غريبة فى القوانين الفيزيائية .

على أى أساس إذن فضل اينشتين وتابعوه اختيار الهندسة اللااقليدية الأكثر تعقيدا ؟ الاجابة هى أنهم لم يؤسسوا الاختيار من جهة بساطة الهندسة ، ولم ينظروا إلى الموقف من ناحية مظهره الجزئى ، ولكن بالأحرى من جهة البساطة التامة للنظام الفيزيائى الكلى ، والتى ستترتب على هذا الاختيار . ومن وجهة النظر الكلية هذه ، لايسعنا إلا أن نوافق اينشتين على أننا إذا تبنينا الهندسة اللااقليدية فاننا نفوز فى الحقيقة بالبساطة المنشودة . لأننا إذا تبنينا الهندسة الاقليدية ، لكان على الفيزياء أن تخترع قوانين سحرية تعالج بها انكماش وتمدد الاجسام

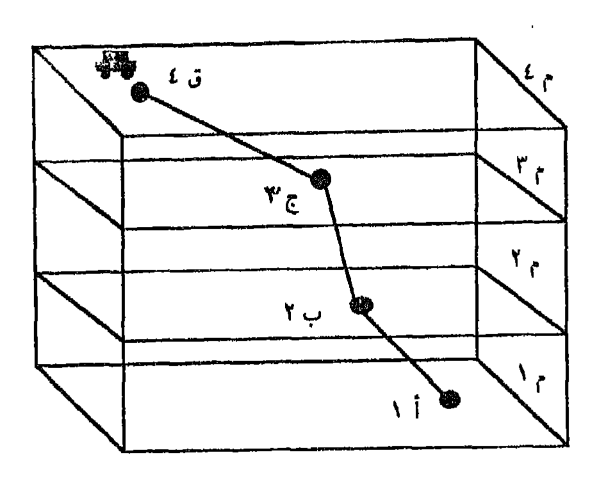
الصلبة ، وانحراف أشعة الضوء فى مجالات جاذبية . أما إذا تبنينا الهندسة اللاقليدية فان قوانين الفيزياء تصبح بسيطة للغاية . لأننا ، فى المقام الأول لن نضطر إلى إدخال قوانين حديثة تعالج انكماش الاجسام الصلبة وانحراف أشعة الضوء وأكثر من ذلك فان القوانين القديمة المتحكمة فى حركات الاجسام مثل مسارات الكواكب حول الشمس ، سوف تصبح بسيطة إلى حد كبير . بل ان القوة الجاذبية ذاتها ستختفى إلى حد ما من الصورة . وبدلا من " القوة " هذه تتحدث فقط عن حركة موضوع فى مسار " خطة الكونى الطبيعــى " " Its Natural Morld- Line " ويتطلب هذا بدرجة ما ، الهندسة اللاقليدية التى تعالج نظام الزمان ـ المكان .

ويمكن تفسير مفهوم " الخط الكونى " بهذا المثال . افترض أنك ترغب فى رسم مسار سيارتك ، التى سبق لك قيادتها فى شوارع لوس انجيلوس على خريطة رسما بيانيا . يبين الشكل ١٧ ـ ١ هذه الخريطة موضحا مسار السيارة بالخط أ ب جـ د . إن هذا الخط يوضح تماما مسار السيارة فى الشوارع ولكنه لايوضح بالطبع أى شئ عن سرعة السيارة . إذ أن عنصر الزمن هنا مفتقد . إذن كيف يتسنى لنا رسم مسار السيارة مع وضع زمن وسرعة السيارة فى




شكل ١٧ ـ ١

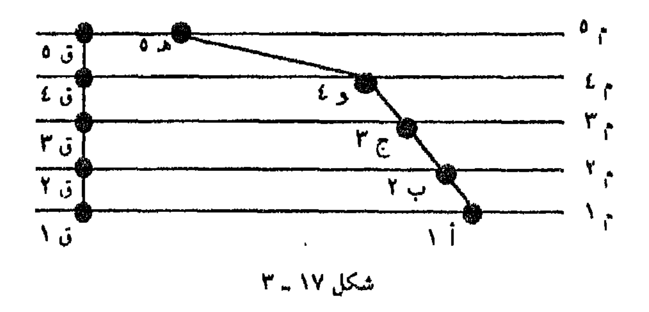
الاعتبار ؟ يمكننا ذلك إذا رسمنا سلسلة من الخرائط م١ ، م٢ ..... مرسوم كل منها على صفحة شفافة من البلاستيك كما هو موضح فـى الشكل ١٧ ـ ٢ . نضع على م١ العلامة أ ١ ( بحيث تنطبق على أن الخريطة الأصلية م ) وحيث كانت سيارتك فـى نقطة الزمــن الأولــى ت١ . ونضع علامة على م٢ فى موقع السيارة ت٢ فى الزمن التالى ت٢ (ولبكن عشرين ثانية بعد ت١) . وتوضح م٣ ، م٤ موقع كلا من جـ٣ و د٤ للسيارة فى نقطتى الزمن ت٣ و ت ٤ .إننا نضع الخرائط فى اطار يؤلف كل منهما متوازيا فوق الآخر ، ولبكن بمسافة عشر بوصات ،




شكل ١٧ ـ ٢

بحيث يساوى المقياس الرأسى للبوصة الواحدة ، ثانيتين من الزمن. فإذا وضعنا سلكا يربط بين النقاط الأربع ، فإن هذا السلك يؤلف الخط الكونى لحركة السيارة . وهو يبين لنا ليس فقط مكان السيارة فى كل لحظة وإنما سرعتها أيضا ، على أساس أنها تتحرك من نقطة إلى أخرى .

وهناك مثال أبسط للخط الكونى ، يسهل توضيحه إذا كانت السيارة تسير فى طريق ذى بعد واحد ، فى خط مستقيم ، ويمكن تمثيله بشارع عريض على جانبيه أشجار . ويبين الشكل ١٧ ـ ٣ الخط الكونى لهذه الحالة ، بحيث يمثل المحور الأفقى المسافة ، المحور الرأسى الزمن بالدقائق .




شكل ١٧ ـ ٣

تبدأ حركة السيارة فى الزمن م ١ ، من الموقع أ ١ ، ثم تتحرك بسرعة ثابتة من أ ١ إلى د ٤ فى الدقائق الثلاث الأولى . أما من د ٤ إلى هـ ٥ فإن سرعة السيارة تكون ثابتة ، ولكنها

أكبر من ذى قبل ، إذ أن المسافة الأكبر تستغرق دقيقة . وأثناء الدقائق الأربع ذاتها ، كان يقف رجل على الخط ـ الكونى فى النقطة ق ـ كما هو مبين بالرسم ـ ولأنه لم يتحرك فإن خطه ـ الكونى ظل مستقيما . ويتضح من هذا الرسم أن الخط ـ الكونى ينحرف أكثر فأكثر عندما تزداد السرعة ، وإذا ظلت السرعة ثابتة فانه ينحرف أيضا ولايكون مستقيما . وبهذه الطريقة يشير الخط إلى كل صور الحركة الفعلية ، كما أنه يوضح سرعة الموضوع فى كل لحظة من الزمن ، حتى إذا كانت هذه السرعة فى زيادة أو نقصان .

ويجدر بنا أن نعرف أن الموضوع إذا كان يتحرك فى طريق ذى بعد واحد ، فانه يمكن رسم الخط ـ الكونى على سطح مستو ، أما إذا كان الطريق ذو بعدين ، كما فى المثال الأول فإن الخط ـ الكونى يرسم بيانيا على خريطة ذات ثلاثة أبعاد . وإذا كان الموضوع يتحرك فى مكان ثلاثى الأبعاد ، فإن الخط ـ الكونى يرسم على هيئة سلسلة من الخرائط ثلاثية الأبعاد بحيث تكوّن نظاما رباعى الأبعاد بنفس الطريقة التى تكوّن بها سلسلة من الخرائط البلاستيك ثنائية الأبعاد ، نظاما ثلاثى الأبعاد . ومن ثم فإنه لايمكن رسم نموذج فعلى لخريطة رباعية الأبعاد تحتوى على خط ـ كونى رباعى الأبعاد أيضا . ولكن يمكن فى هذه الحالة أن نصف الخط ـ الكونى رياضيا . ولقد أدخل هيرمان مينكوفسكى " Herman Minkowski ... جدولا خاصا بهذا الشأن ، أدى بالفعل إلى صياغة بسيطة ـ وعندما تم تطبيق هذا الجدول على قوانين أشعة الضوء ، وحركة الأجسام كالكواكب ، مع الأخذ فى الاعتبار الخط ـ الكونى لأشعة الضوء ، والكواكب فى كل المجالات الجاذبية ، مال هذا الخط إلى أن يكون خطا جيوديسيا . وكما شرحنا من قبل ، فإن الخط الجيوديسى يعد من أكثر الخطوط المُمكنة ، استقامة فى نظام مكانى مفترض ومن ثم لايحتاج نظام المكان أن يكون له منحنى ثابت . ففى سطح الأرض مثلا ، وبرغم الجبال والوديان غير المنتظمة ، يظل فى الإمكان دائما أن نعثر على واحد أو أكثر من الخطوط الجيوديسية التى تمثل أقصر الطرق الممكنة بين أى نقطتين مفترضتين والخطوط الجيوديسية ما هى إلا نسخ طبق الأصل للخطوط المستقيمة فى السطح الاقليدى المستوى .

إن الخطوط الكونية للكواكب وأشعة الضوء فى نظرية النسبية ، جيوديسية ـ وكما يقال فى الفيزياء الكلاسيكية ، إن الجسم يتحرك بقصوره الذاتى فى خط مستقيم وبسرعة ثابتة ـ أى فى خط ـ كونى مستقيم ـ إذا لم تعترضه قوة خارجية ، يقال أيضا فى نظرية النسبية أن الجسم يتحرك فى المجالات الجاذبية ، فى خطوط ـ كونية جيوديسية . ويستغنى فى هذه الحالة عن مفهوم " القوة " . لأننا إذا تساءلنا هنا : لماذا يدور كوكب حول الشمس تبذل " قوة " " تجذب "

الكوكب نحوها . وإنما تكون الاجابة : لأن كتلة الشمس تحدث منحنى سلبيا فى البنية اللاقليدية للمكان ـ الزمان . وفى البنية المنحنية تكون أكثر الخطوط ـ الكونية استقامة بالنسبة للكوكب ، هى الخطوط الجيوديسية ، فهى تنطبق بالفعل على الحركة الفعلية للكوكب حول الشمس . أما المسار الاهليلجى للكوكب فى المكان ثلاثى الأبعاد ، ليس جيوديسيا ، وإنما خطه ـ الكونى فى النظام رباعى الأبعاد للمكان ـ الزمان . اللاقليدى فهو جيوديسى . لأن الخط الجيوديسى من أكثر الخطوط الممكنة استقامة بالنسبة للكوكب . ونفس الشئ ينطبق على مسار الضوء . ومن وجهة النظر اللاقليدية لنظرية النسبية ، ليس ثمة قوة للجاذبية ، سواء أكانت مطاطية أو اليكترومغناطيسية . إذ أن الجاذبية تختفى كما تختفى القوة من الفيزياء ، وتحل محلها البنية الهندسية لنظام المكان ـ الزمان رباعى الأبعاد . كان ذلك هو التحول الثورى . ومن اليسير أن ندرك سبب فشل العديد من فهمه بشكل صحيح . فقد اعتقد البعض أن جانبا هاما من الفيزياء قد ألغى وحل محله الهندسة البحتة ، أو أن جانبا هاما من الفيزياء قد تحوّل إلى رياضيات . وفكر البعض الآخر فى إمكانية أن تتحول الفيزياء فى يوم ما إلى رياضيات . واعتقد أن هذا كله إنما هو تضليل . إذ أن الكتّاب الذين حاولوا أن يجعلوا نظرية النسبية أكثر ألفة للرجل العادى ، كانوا مولعين باستخدام عبارات مثيرة ولكنها متناقضة . وربما كان يمكن لمثل هذه العبارات أن تقدم اسهاما فى كتابة مفعمة بالحياة ، ولكنها تخفق فى الغالب ، فى اعطاء انطباع دقيق عن الحالة الصحيحة . واعتقد أنهم بذلك إنما يخلطون بين الهندسة بمعناها الرياضى ، والهندسة بمعناها الفيزيائى . لقد حلت الهندسة الفيزيائية للمكان ، أو على نحو أكثر دقة ، نظام المكان ـ الزمان فى نظرية النسبية محل الفيزياء الجاذبية ، ولكن تظل هذه الهندسة جزءا من الفيزياء . إذ إنها ليست رياضة بحتة ، بل أنها هندسة فيزيائية وليست رياضية .

إن الهندسة الرياضية منطقية بشكل بحت بينما الهندسة الفيزيائية نظرية امبيريقية . ولقد اتخذت الجاذبية فى نظرية النسبية لاينشتين شكلا آخر . إذ تحولت النظرية الفيزيائية للجاذبية إلى نظرية فيزيائية أخرى . ولم يعد ينطبق مفهوم القوة ، ومع ذلك تظل النظرية النسبية للجاذبية منتمية إلى الفيزياء وليس إلى الرياضة . ومع أن المقادير الرياضية ( كتوزيعات منحنى المكان ـ الزمان ) تستخدم فى هذه النظرية إلا أنها تعد مقادير فيزيائية وليست مفاهيم رياضية . والنقطة التى أود أن أشدد عليها هنا . إن اطلاق اسم هندسة على نظرية الجاذبية لاينشتين قد أغرى البعض بالنظر إليها بوصفها رياضة بحتة ، ولكن الهندسة الفيزيائية ليست رياضية ، كما سبق القول ، وإنما هى نظرية فى المكان الفيزيائى . انها ليست تجريدا أجوف وإنما

هى نظرية فيزيائية فى سلوك الاجسام الضوئية ، ولذلك لا يجدر بنا أن ننظر إليها بوصفها جزءا من الرياضيات البحتة ـ ولقد ذكرت من قبل ملاحظة جاليليو الشهيرة " Cum Grano Salis " إن الطبيعة كتاب مكتوب بلغة رياضية إلا أن هذه العبارة قد أسىء فهمها إلى حد بعيد . لقد كان جاليليو يعنى أن الطبيعة يمكن وصفها بمساعدة المفاهيم الرياضية ، ولايعنى أن اللغة الكلية للفيزياء تتكون من رموز رياضية . إذ من رابع المستحيلات أن نعرّف بها مفهوم اللوغاريتمات أو أية مفاهيم رياضية أخرى . ومن ثم يصبح من الضرورى أن نتحقق من وجود اختلاف أساسى بين الرموز الفيزيائية المستخدمة فى قانون فيزيائى ( مثل " ك " للكتلة ، و " ح " لدرجة الحرارة ) وبين الرموز الرياضيـــــة التى تستخدم أ فى الرياضة ( مثل " ٢ " و " " و " لوغاريتم " و " جيب تمام " ) .

إن البساطة الشديدة التى تتصف بها معادلات اينشتين فى معالجة حركة الأجسام والاشعة الضوئية كانت بالتأكيد تعضد موقفه الخاص بتفضيل الهندسة اللااقليدية ، حيث أن الهندسة الاقليدية تتطلب ادخال عوامل تصحيح مما يسبب تعقيدا للمعادلات . ومع ذلك ، فإن هذا لايعد اكتشافا لأى نوع من المبادئ العامة التى يمكن أن ترشدنا إلى كيفية الوصول إلى البساطة الشديدة فى حالة اختيارنا بين بدائل متعددة فى الفيزياء . والمطلوب هو قاعدة عامة للاختيار ، تصلح لكل المواقف المستقبلية . ومن ثم قد يكون اختيار اينشتين لهذا الموقف مجرد حالة خاصة لقاعدة عامة . إذ أنه قد افترض بالطبع أن أبسط نظام كامل للفيزياء هو الذى ينبغى أن نفضله ، ولكن المسألة ليست كذلك . المسألة هى كيف نقرر أى نظام من النظامين له البساطة القصوى التامة . إذ عندما نواجه بنظامين متنافسين ، فاننا نجد فى الغالب ، إن كلا منهما أبسط من الآخر من جهة ما . وفى حالات مثل هذه كيف يتسنى لنا قياس البساطة التامة ؟

والحقيقة أن الفضل يرجع إلى ريشنباخ فى افتراضه قاعدة عامة لهذا النوع . وقد لاتكون قاعدته عامة تماما ، ولكنها تغطى نوعا واسعا من المواقف ، ولذلك فهى جديرة بالاهتمام غير أن لدى انطباعا بأنها لم تنل الاهتمام الكافى . إن هذه القاعدة تعتمد على التمييز بين " القوى التفاضلية " " Differential Forces " " القوى الكلية " " Universal Forces " . وإذا كان ريشنباخ قد أطلق عليهما اسم " القوى " فإننا نفضل أن نتحدث عنهما هنا بطريقة أكثر عمومية ونجعلهما نوعين من النتائج ( ويمكن إدخال القوى فيما بعد لتفسير النتائج ) . وإليك التمييز الذى اقترحه ريشنباخ : إذا كانت النتيجة مغايرة لعناصر مختلفة فهى نتيجة تفاضلية ، أما إذا كانت النتيجة مماثلة كميا ، بغض النظر عن طبيعة العنصر ، فهى نتيجة كلية .

ويمكن توضيح هذا بأمثلة . عند تسخين قضيب من الحديد ، فإنه يتمدد . وإذا أردت تعريف الطول عن طريق قضيب الحديد ، فلابد أن تضع فى الاعتبار نتيجة التمدد الحرارى ( كما هو مبين من قبل ) وذلك بإدخال عامل تصحيح :

ل = ل صفر { ١ + بيتا ( ت ـ ت صفر ) }

وتعد البيتا فى هذه الصياغة معامل التمدد الحرارى ، لأنها ثابتة ، ولكن بالنسبة لجميع اجسام عنصر معين فقط . فإذا كان القضيب من حديد ، فإن بيتا تساوى قيمة معينة ، أما إذا كان القضيب من نحاس أو ذهب أو أى عنصر آخر لكانت لبيتا قيما مختلفة . ومن ثم يتضح أن تمدد الحديد عند تسخينه إنما هو نتيجة تفاضلية لأنه يختلف عن العنصر . افترض وجود صياغة أخرى للطول بعد اضافة عامل تصحيح آخر يضع فى الاعتبار تأثير الجاذبية على طول القضيب . لعلك تتذكر أن هذه الصياغة هى :

ل = ل صفر { ١ + بيتا ( ت ـ ت صفر ) } { ١ ـ ن ( ك / ر جيب تمام ∅ ٢ ) }

وتعد ن عاملا تصحيحيا ثانيا ، وهذا العامل ثابت كلى أيضا ، غير أن هذا الثابت لايتغير بتغير الأجسام فى كل مجال جاذبى . ويأخذ عامل التصحيح فى الاعتبار كتلة الشمس ك ، والمسافة من الشمس إلى قضيب القياس ر ، وزاوية القضيب التى تمثل الخط الواصل من نصف قطر الشمس إلى القضيب ∅ . وهو لايشير ما إذا كان القضيب حديدا أم نحاسا أم أى عنصر آخر ، ولذلك فهى نتيجة كلية .

ويؤكد ريشنباخ بين الفينة والأخرى على عدم وجود حائل من أى نوع يمكن أن يحول بين عمل النتائج الكلية . فقد يحجب مثلا قضيب معدنى من المؤثرات الحرارية إذا ما أحيط بحائط من الحديد ، ولكن ليس ثمة وسيلة لحجب مؤثرات الجاذبية . وفى رأيى ، ليس من الضرورى أن نتحدث عن حوائل بغية التمييز بين النتائج التفاضلية والنتائج الكلية ، لأن هذا الشرط كما سبق أن أشرنا ، إنما هو متضمن بالفعل . فإذا تم بناء حائط من الحديد لحجب تأثير آلة ممغنطة على الحجرة التالية ، فإن هذا الحائل يكون فعالا ، فقط لأن الحائط الحديد يتأثر بالمجالات المغناطيسية بشكل مختلف عن تأثر الهواء بها . وإذا كان الأمر على خلاف ذلك لما صلح الحائل . ومن ثم فإن مفهوم الحجب " Shelding " ينطبق فقط على المؤثرات المختلفة للمواد

المختلفة . أما إذا كان التأثير الكلى واحداً بالنسبة إلى كل المواد ، لترتب على ذلك استحالة تأثير الحجب .

وفى تحليل تفصيلى للتأثيرات التفاضلية والكلية ، يدعو ريشنباخ إلى تركيز الانتباه على الحقيقة التالية : افترض أن شخصا ما ، ذكر أنه قد نجح فى اكتشاف تأثير جديد تماما لا يختلف من مادة إلى أخرى . وإن القانون الذى قدمه لهذا التأثير الجديد تم اختباره ، وثبت أن ما يقوله صحيحا . يؤكد ريشنباخ على أنه فى حالات من هذا النوع يمكن للنظرية أن تصاغ بحيث يختفى التأثير الكلى تماما .

ولاتوجد طريقة للمقارنة تساعدنا على حذف تأثير تفاضلى كالتمدد الحرارى مثلا . لأن التأكيد على عدم وجود تأثيرات للتمدد الحراري يمكن دحضه ببساطة ، إذا وضعت قضيبين من مواد مختلفة كل منهما بجانب الآخر ، وقمت بتسخينهما معا بنفس درجة الحرارة العالية فانك سوف تلاحظ اختلاف أطوالهما . إذن من الواضح أن شيئا ما قد تغير ، ولكن ليس ثمة طريقة لحساب هذا التغير الملاحظ دون ادخال مفهوم التمدد الحرارى . ومن ناحية أخرى يمكن حساب التأثير الكلى للجاذبية على أطوال القضبان ، إذا تبنيت نظرية يزول معها التأثير تماما . وهذا بالتحديد ما حدث فى نظرية النسبية لاينشتين . لأن تبنى نظام مناسب للمكان ـ الزمان اللااقليدى يزيل معه الحاجة إلى الحديث عن تمدد وانكماش الأجسام فى المجالات الجاذبية . فالأجسام لاتغير من احجامها عند دورانها فى مثل هذه المجالات . ولكن بنية المكان ـ الزمان فى هذه النظرية تختلف عن الموقف السابق المتعلق بالتمدد الحرارى ، الذى نفتقد فيه الوسيلة التى نبين بها أن حذف هذا التأثير الجاذبى مستحيل . إذ أن للمجالات الجاذبية نفس التأثير تماما على جميع المواد . فإذا وضعنا قضيبين بجانب كل منهما الآخر ، وحركناهما فى اتجاهات مختلفة ، فإن أطوالهما تظل هى هى بالنسبة إلى كل منهما الآخر .

وبالنظر إلى هذه الاعتبارات ، اقترح ريشنباخ هذه القاعدة لتبسيط النظرية الفيزيائية : فى أى نظام للفيزياء يتأكد فيه تأثير كلى معين ، عن طريق قانون يعين تحت أى شرط ، وفى أى كمية يحدث هذا التأثير ، ينبغى تعديل النظرية بحيث تختزل كمية التأثير إلى الصفر.. وهذا بالضبط ما فعله اينشتين بصدد انكماش وتمدد الاجسام فى المجالات الجاذبية . أما من وجهة النظر الاقليدية ، فإن مثل هذه التغيرات تحدث ، ولكن وجد أن لها تأثيرات كلية . ومع ذلك فإن تبنى نظام مكان ـ زمان لااقليدى يتسبب فى أن تصبح هذه التأثيرات صفرا . وهناك

تأثيرات أخرى معينة مثل امكانية وجود زوايا مثلث لايصل مجموعها إلى ١٨٠ درجة ولكن ليس من الضرورى أن نتحدث عن تمددات وانكماشات لأجسام صلبة . ومن ثم أكد ريشنباخ على أنه عند وجود تأثيرات كلية فى الفيزياء ، فاننا يمكننا حذفها عن طريق تعديل مناسب فى النظرية ، لأن هذا التعديل يكون من نتيجته أننا نفوز بمبدأ البساطة . وهو مبدأ عام مفيد ، يستأهل منا أن نوليه اهتماما أكبر من ذى قبل . لأنه لاينطبق على نظرية النسبية فحسب ، وإنما ينطبق أيضا على المواقف التى يمكن أن تنشأ فى المستقبل ، والتى قد تكتشف من خلالها تأثيرات كلية أخرى . فإذا استبعدنا هذه القاعدة ، لن يكون فى مقدورنا اعطاء اجابة فريدة واضحة عن السؤال : ماهى بنية المكان ؟ أما إذا تبنينا هذه القاعدة ، لن يصبح هذا السؤال غامضا .

عندما اقترح اينشتين لأول مرة هندسة لااقليدية للمكان ، واجهته اعتراضات قوية . كان من بينها اعتراض دنجلر " Dingler " وآخرين بأن الهندسة الاقليدية لاغنى عنها ، لأننا نفترضها بالفعل فى تشييد أدوات قياسنا . ولكن ، وكما تبين فيما بعد ، فإن هذا الاعتراض باطل بالتأكيد . وهناك اعتراض آخر أكثر عمومية ، وهو أننا لاينبغى أن نتبنى الهندسة اللااقليدية ، لأننا من وجهة النظر الفلسفية ، لانستطيع ، بل من المستحيل أن نتخيلها ، فهى على النقيض من طرق تفكيرنا ، من حدسنا . ولقد تم التعبير عن هذا الاعتراض بطريقة كانطية ، وفى بعض الأحيان بطريقة فينومينولوجيـة ( المصطلحات المختلفة ) ولكن بوجه عام كانت وجهة النظر هى إن عقولنا فيما يبدو تعمل بذلك النمط الذى لايمكن أن نتصور فيه أى نوع من البنية المكانية اللااقليدية .

ولقد ناقش ريشنباخ وجهة النظر هذه ، وأطلق عليها اسم المشكلة السيكولوجية ، واعتقد أنه على حق فى هذه التسمية ، ولقد ذهب إلى أنه ليس ثمة أسس لافتراض إن حدوسنا قد تشكلت بطريقة اقليدية ، بل أن هناك ، على العكس من ذلك أسبابا وجيهة للاعتقاد بأن المكان المتصور إنما هو مكان لااقليدى ، على الأقل بالنسبة إلى طفل ، إذ أن الذى يطلقون عليه اسم " الحدس المكانى " ليس حدسا للبناء المترى كذلك الذى يكون لحدس البناء الطوبوغرافى (١) إن ادراكاتنا تخبرنا إن المكان ثلاثى الأبعاد . وأنه مستمر ، وإن لكل نقطة نفس الخواص الطوبوغوغرافية لأى نقطة أخرى . أما بخصوص الخواص المترية للمكان ، فإن حدوسنا تكون مبهمة ، وغير دقيقة .

ويشار إلى السمة اللااقليدية فى الادراك الحسى " Perception " للمكان ، بقدرة العقل

المدهشة على تنظيم وتعديل أى نمط من الخيالات التى تظهر على شبكية العين فالشخص المصاب بلااستجمية قوية " Astigmatism " (٢) مثلا ، سوف يستقبل صورا مشوهة بشدة على شبكية كل عين ، فهو عندما ينظر إلى عصا ياردية تكون فى وضع أفقى ، ربما تكون الصورة الشبكية لها أطول من نفس العصا التى ينظر إليها وتكون فى وضع رأسى ولكنه غافل عن هذا ، لأن أطوال كل الموضوعات التى تقع فى مجاله البصرى تتغير بطريقة مشابهة . ولكن عندما يزود هذا الشخص ولأول مرة بنظارات تصحيحية ، فإن مجاله البصرى سوف يبدو مشوها لعدة أيام أو أسابيع حتى يتمكن عقله من تعديل الصور بحيث تتلاءم مع الصور الطبيعية المنطقية على شبكية عينه وبالمثل قد يرتدى شخص آخر رؤية طبيعية نظارة خاصة تشوه الصور بطول احداثى واحد ، وبعد فترة يعتاد على الصور الجديدة . ويبدو مجاله البصرى طبيعيا . ولقد وصف لنا هيلمهولتز تجارب من هذا النوع بعضها اجراها بنفسه ، واستخلص منها إن المكان المرئى يمكن أن يكون له بنية لااقليدية . واعتقد هيلمهولتز ـ واعتقد أنه يمكن اجراء حجج قوية لهذا الاعتقاد ـ أنه إذا كان هناك طفل أو حتى بالغ تكيف بشكل كاف على تجارب تتضمن سلوك أجسام فى عالم لااقليدى ، لأمكنه تصور بنية لااقليدية بنفس السهولة التى يتصور بها الآن البنية الاقليدية .

وحتى إذا كان اعتقاد هيلمهولتز هذا لا أساس له من الصحة ، فإن هناك حجة دامغة ضد هؤلاء الذين يعترضون بأن الهندسة اللااقليدية لايمكن تبينها لأنه لايمكن تصورها وهى أن القدرة على التصور تعد موضوعا سيكولوجيا ، ومن ثم فهى لاتناسب الفيزياء مطلقا . فقد أضحى بناء نظرية فيزيائية غير مرهون بقدرة الانسان على التصور لأن الفيزياء قد ابتعدت رويدا رويدا عما يمكن ملاحظته وتصوره بشكل مباشر ، وحتى إذا كانت نظرية النسبية تبتعد كثيرا عن الحدس ، وأنها استبعدت أن يكون حدسنا المكانى ذا نزعة اقليدية ثابتة لايمكن تغييرها ، فانه سيظل فى إمكاننا أن نستخدم فى الفيزياء البنية الهندسية التى نرغبها أيا كانت .

فى القرن التاسع عشر ، وبالذات فى انجلترا أكثر من أى قطر آخر فى القارة بأسرها ، كانت تبذل محاولات رائعة لتخيل وبناء نماذج للفيزياء وكان الأثير وقتها يعتبرونه نوعا غريبا من المادة الشفافة الهلامية ( كتلة عديمة الشكل أو الكثافة ) ، قادر على تذبذب وانتقال الموجات الاليكترومغناطيسية . ولأن الفيزياء تقدمت ، أصبح هذا النموذج للأثير معقدا أكثر فأكثر ، حتى أنه تطلب خواص اتضح أنها متعذرة . فقد كان من المعتقد مثلا أن الأثير بلا كثافة ، لأنه لا يبدى أية مقاومة تذكر لحركات الكواكب والأقمار ، وعلاوة على ذلك ، وجد أن الموجات

الضوئية مستعرضة أكثر منها طولية وهى أكثر شبها بما يتوقع من الأجسام ذات الكثافة العالية جدا . وعلى الرغم من أن هذه الخواص لم تكن متعذرة منطقيا ، إلا أنهم جعلوها شديدة الصعوبة فيما يتعلق بتطوير نموذج مرض حدسا للأثير . وفى آخر الأمر ، أصبحت نماذج الأثير المختلفة معقدة بحيث لم تعد تخدم أى غرض مفيد . وهذا هو السبب الذى حدا باينشتين إلى التخلى كلية عن الأثير . ووجد من الأبسط له أن يتبنى المعادلات ـ معادلات ماكسويل " Maxwell " ولورنتز " Lorentz " ـ وأن يعتمد عليها بدلا من محاولة أن يتبنى نموذجا شاذا لايساعد على تخيل بنية المكان .

لم يتم التخلى عن الأثير فحسب ، وإنما اتجه القرن التاسع عشر أيضا إلى الاقلال من بناء نماذج متخيلة ، وذلك لأن فيزياء القرن العشرين كانت قد تقدمت ، وأضحت النظريات الأحدث أكثر تجريدا ، ومن ثم فقد كانت تقبل بمصطلحاتها الخاصة تمام القبول . وكانت الوظائف التى تمثل حالات النظام الفيزيائى ، كالذرة مثلا ، شديدة التعقيد ، بحيث لم تعد تسمح بتخيل النماذج بسهولة . غير أنه يمكن بالطبع أن يستخدم معلم أو كاتب ماهر رسما بيانيا يساعده فى شرح أو توضيح نقطة ما من نظرية شديدة التعقيد ، فلا بأس من استخدام مثل هذه الرسوم البيانية التوضيحية لأغراض تعليمية . أما النقطة التى أريد التأكيد عليها هى أنه لاسبيل إلى الاعتراض على النظرية الفيزيائية الحديثة بأن تخيلها أكثر صعوبة من الفيزياء القديمة . فقد كان هذا هو الاعتراض الرئيسى الذى واجه نظرية النسبية عند اقتراحها لأول وهلة . وتحضرنى الآن مناقشة تمت حوالى عام ١٩٣٠ ، فى براغ مع فيزيائى ألمانى حول نظرية النسبية ، وكان مكتئبا إلى حد بعيد ، ابتدرنى قائلا : " شئ فظيع ، انظر ماذا فعل اينشتين بفيزيائنا الرائعة " . ولأننى كنت متحمسا للفيزياء الحديثة ، قلت " أتقول شيئا فظيعا " . هل من الفظيع أن نصف نموذجا معينا من التغير عن طريق مبادئ عامة قليلة ، وهل من الفظيع إمكان تفسير الكثير جدا مما لم يكن مفهوما من قبل عن طريق التبنى المثير للهندسة اللاإقليدية ؟ ولكن كان لدى هذا الفيزيائى مقاومة انفعالية شديدة للنظريات الصعبة ، لدرجة أنه تخيل أنه قد فقد حماسه بالكاد للفيزياء بسبب التغيرات الثورية التى أتى بها اينشتين . والأمل الوحيد الذى كان يحدوه هو أن يرى فى حياته قائدا ، يقود ثورة مضادة يعيد فيها الانتظام الكلاسيكى القديم . عندئذ سوف يتنفس الصعداء ، ويشعر أنه قد عاد آمنا مرة أخرى إلى بيته .

ولقد حدثت ثورة مماثلة فى الفيزياء الذرية . وكلنا يذكر كم كان مفرحا ومرضيا نموذج الذرة الذى وضعه نيلز بور " Niels Bohr " ، ذلك النوع من النظام الكوكبى الذى تكون فيه النواة

فى المركز ، وتتحرك الاليكرونات حولها فى مدارات . ولكن ثبت بعد سنوات قليلة أن هذا النموذج كان تبسيطا شديدا . وأصبح الفيزيائى النووى اليوم لايحاول حتـى أن يضع نموذجا كليا ، إذا كان يستخدم نموذجا على الاطلاق . فقد أدرك أنها لاتعدو أن تكون صورا لمظاهر معينة فى الموقف ، وتتجاهل باقى المظاهر الأخرى . فلم يعد النظام الكلى فى حاجة إلى تصوير جميع أجزاء بنائه بشكل واضح . وهذا هو السبب الرئيسى فى أن القضية السيكلوجية لايمكنها أن تتخيل هندسة لااقليدية ، حتى ولو كان صحيحا ( وهذا فى رأيى أمر مشكوك فيه ) عدم وجود اعتراض قوى لتبنى نظام فيزيائى لااقليدى .

إذن ينبغى على الفيزيائى دائما الاحتراس من أخذ نموذج متخيل ( بصرى ) ، إلا إذا كان وسيلة تعليمية تربوية أو وسيلة مساعدة . كما ينبغى أن ينتبه أيضا إلى امكانية أن يكون النموذج المتخيل ، كما يحدث ذلك أحيانا ، دقيقا إلى حد بعيد . غير أن الطبيعة تأتى دائما بمفاجآت . فقد حدث منذ عدة سنوات ، وقبل أن تقدم الفيزياء أى أفكار واضحة عن كيفية ارتباط الذرات معا فى جزئيات ، أنهم كانوا يشيرون إلى ذرات العنصر بحروف أبجدية كبيرة ، وكانوا يرسمون خطوطا متوازية لربط هذه الحروف بوسائل مختلفة ، وأتذكر حديثا لكيميائى كان يعترض بشدة على مثل هذه الأشكال الهندسية التوضيحية .

وسألته : " ولكن أليست ذات نفع كبير ؟ "

أجاب : " نعم ، ولكن ينبغى أن نحذر طلابنا من ألا يعتقدوا أن هذه الأشكال الهندسية تمثل الأوضاع الفراغية النسبية للذرات فى جزئ بالفعل . لأننا لا نعرف حقيقة أى شئ على الاطلاق عن البنية الفراغية فى المستوى الجزيئى . ومن ثم لاتعدو أن تكون هذه الأشكال الهندسية مجرد أشكال هندسية . مثلها فى ذلك مثل المنحنى المرسوم على رسم بيانى لتوضيح الزيادة فى عدد السكان . أو كم انتاج الحديد المطاوع . ونعلم جميعا إن هذا المنحنى مجازا فقط ، فهو لايمثل السكان أو الحديد المطاوع بأى معنى حيزى . وعلينا أن نفكر فـى الصـور الجزيئية بنفس الطريقة ، لأن أحدا لايعرف ما هو نوع البنية الفراغية الفعلية للجزيئيات .

واتفقت مع الكيميائى ، ولكننى جادلته بأنه تظل هناك امكانية ، على الأقل ، فى أن تكون الجزيئيات مرتبطة معا بنفس الطريقة التى توضحها الرسوم الهندسية تماما ، وبصفة خاصة بعد اكتشاف الازوميرى المجسم " Steresisomer " (٣) مما جعل من الملائم أن نفكر فى جزئ

بوصفه صورة طبق الأصل للآخر . كما أنه إذا كان هناك نوع من السكر Sugar يجعل الشعاع المستقطب " Polariged Light " ينحرف باتجاه حركة عقارب الساعة وهناك نوع آخر من السكر يجعله ينحرف فى الاتجاه المعاكس لحركة عقارب الساعة ، إذن هناك امكانية لرسم صورة فراغية للذرات فى الجزيئيات .

أجاب : " هذا صحيح . ولكننا لانعرف بالتأكيد إن هذه هى الحالة " . وكان على صواب . فقد كان القليل جدا مما هو معروف عن البنية الجزيئية فى ذلك الوقت ، بحيث سيكون أى تصوير لها مبتسرا . وريدا رويدا علمنا الشئ الكثير عن هذه البنية ، وستظل هناك امكانية لتمثيل الجزيئيات عن طريق نماذج ثلاثية الأبعاد يمكن تصورها " Visualizable " وكان مفهوما أن الملاحظات الأخيرة تتطلب بناءات ذات رباعية أو خماسية ، أو سداسية الأبعاد ، فلم تكن الرسوم الهندسية أكثر من مجرد صور ملائمة لما كان معروفا فى ذلك الحين .

ولكن لم تلبث أن اكتشفت ، وبصفة خاصة بعد تحديد ماكس ڤون ليو " Max Von Laue " للبناءات الكرستالية عن طريق انحراف ضوء أشعة . وتبين أن الذرات التى فى تركيبات جزيئية تتخذ بالفعل المواضع الفراغية التى يبينها الرسم البيانى . ولايتردد الكيميائى اليوم فى القول أنه فى جزئ بروتين ، توجد ذرات معينة هنا ، وذرات معينة هناك ، وأنها تنتظم على شكل لولب " Helix " . كما أن النماذج تبين بشكل حرفى تماما صلات " Linkages " الذرات فى مكان ثلاثى الأبعاد ، ولايوجد الدليل على دحض هذا حتى الآن . وهناك دواع قوية للاعتقاد بأن نماذج الأبعاد الثلاثية للجزيئات تمثل أشكالا فعلية فى المكان الثلاثى الأبعاد . وفى بعض الأحيان نصاب بنفس الدهشة ، بل أكثر عندما تبين لنا التجارب الحديثة عدم معادلة " Parity " التفاعلات النووية الضعيفة . ويتضح الآن أن الجسيمات ، والجسيمات المضادة " Antiparticles " ينظر إليها بوصفها صورا تخيلية فقط بمعنى مجازى ويمكن أن تكون بالفعل صورا تخيلية بمعنى فراغى " senseIn A spatial " .

ومن ثم يظل التحذير قائما فى الا نأخذ بالنماذج حرفيا ، على الرغم من أنها صحيحة وربما يثبت فيما بعد أنها غير ضرورية . إذن ينبغى للنظرية أن تبتعد عن النماذج التى يمكن تخيلها ، وبعبارة أدق ، عندما ، نعرف أكثر ، ينبغى أن نعود مرة أخرى للنماذج التى شككنا فيها من قبل . وفى حالة النماذج النووية فإن الفيزيائيين هم الذين يشككون فى الغالب فقد تكون صورة الذات المنتظمة فراغيا فى الجزيئات ملائمة ولذلك فإن معظم الكيميائيين يفسرون النماذج طبقا

لها حرفيا ، على الرغم من أن الفيزيائيين يؤكدون بأنه لايوجد التأييد الكافى لها .

لاينبغى الخلط بين النماذج بمعنى البناءات الفراغية البصرية " Visual Spatial Structures " والنماذج بالمعنى الرياضى الحديث . إذ أن الأمر المألوف والشائع اليوم عند الرياضيين والمنطقيين والعلماء هو الحديث عن النماذج بوصفها بناء تصوريا مجردا ، وليس بوصفها شيئا ما يمكن معالجته فى المعمل بالكرات والأسلاك . ينبغى لهذا النموذج أن يكون فقط معادلة رياضية أو مجموعة من المعادلات . ويصبح وصفا مبسطا لأية بنية فيزيائية كانت أو اقتصادية أو سوسيولوجية أو غيرها ، ترتبط فيها التصورات المجردة بشكل رياضى . وهى وصف مبسط لأنها تستبعد عوامل عديدة يمكن لها أن تعقد النموذج . فقد يتحدث مثلا اقتصادى عن نموذج لاقتصاديات السوق الحرة ، وآخر عن الاقتصاد المخطط ، وهكذا .. وقد يتحدث عالم النفس عن نموذج رياضى لعملية التعلم ، أو عن كيفية تعلق حالة سيكولوجية بأخرى فى احتمالات انتقالية " Transitional Probabilities " معينة تجعل من السلاسل وحدة واحدة ، ويسميها الرياضيون بسلسلة ماركوف " Markov Chain " وتختلف هذه النماذج تماما عن نماذج فيزياء القرن التاسع عشر . إذ أن الغرض منها ليس فى جعلها متخيلة وإنما فى جعلها مصاغة . إن هذا النموذج فرضى خالص تدخل فيه بارامترات " Parameters " معينة ، وتضبط حتى تتناسب بشكل أفضل مع المعطيات المتآخية . وعندما نجرى ملاحظات أدق وأكثر ، فهذا لايترتب عليه بارامترات أكثر ضبطا فحسب وإنما يترتب عليه أيضا أن المعادلات الأساسية تكون فى حاجة إلى التغيير . وبكلمات أخرى النموذج نفسه يتغير وهكذا قادنا النموذج القديم إلى حد ما فترة من الوقت . والآن إننا فى حاجة إلى النموذج الجديد .

ولم يكن النموذج الفيزيائى للقرن التاسع عشر بهذا المعنى المجرد ، وإنما كان المقصود منه أن يكون نموذجا فراغيا لبنية فراغية . ومن ثم يصبح نموذج سفينة أو طيارة ممثلا لسفينة أو طيارة بالفعل . وبالطبع لايعتقد الكيميائى بأن الجزيئيات يمكن أن تؤلف قليلا من الكرات الملونة بتجميعها معا عن طريق الأسلاك ، وإنما هناك العديد من الأشكال التى تصور هذا النموذج ولايمكن أن تؤخذ بالمعنى الحرفى ، وإنما ينبغى أن نأخذها فى أشكالها الفراغية العمومية ، فنلاحظها بوصفها صورة صحيحة للشكل الفراغى لذرات الجزئ الفعلى . وكما تبين لنا ، هناك أسباب وجيهة أحيانا تجعلنا نأخذ هذا النموذج أو ذاك حرفيا ، كنموذج المجموعة الشمسية مثلا ، أو نموذج الكريستال أو الجزئ ، وحتى إذا لم تكن هناك أسس لمثل هذا التفسير فإن النماذج البصرية يمكن أن تفيد إلى حد بعيد . إن العقل يعمل بالحدس ، وغالبا ما يكون مفيدا

أن يفكر العالم بمساعدة الصور البصرية . وفى نفس الوقت ينبغى دائما الحذر من تحديدات النموذج . لأن النموذج البصرى المحكم ليس ضمانة لصحة النظرية ، كما أن الافتقار إلى نموذج بصرى لايعد سببا وجيها لدحض نظرية .

***

## هوامش

(١) البناء الطبوغرافى نوع من الهندسة اللاكمية أو اللامقدارية وهى نوع من الرياضيات يعنى بدراسة موقع الشئ بالنسبة إلى الأشياء الأخرى لا بالمسافة أو الحجم ( المترجم ) .

(٢) اللااستجمية علة فى العين ، تجعل الأشعة المنبعثة من نقطة من الشئ لاتجتمع فى نقطة بؤرية واحدة ، وبذلك يبدو الشئ للعين على نحو غير واضح . ( المترجم ) .

(٣) الازوميرى : هو الشئ المناسب التركيب ومختلف الخواص لاختلاف العناصر ( المترجم ) .

## □ الفصل الثامن عشر □

# القبلى التركيبى لكانط

---

هل يمكن للمعرفة أن تكون تركيبية وقبلية معاً ؟ هذا السؤال الشهير ، سأله إيمانويل كانط Iammanuel ، وأجاب عنه بالإيجاب . ومن الأهمية بمكان أن نفهم بدقة ما كان يعنيه كانط بهذا السؤال ، ولماذا يختلف فى إجابته مع التجريبيين المعاصرين .

ولقد تضمن سؤال كانط تمييزين هامين : الاتمييز بين التحليلى " Anaytic " والتركيبى " Synthetic " منو جهة ، وبين القبلى " A Priori " والبعدى " A Posteriori " من جهة أخرى . وهناك العديد من الشروح التى تناولت هذين التمييزين . وفى رأيى فإن التمييز الأول منطقى ، والثانى معرفى .

ولنبدأ الأول بالتمييز المنطقى . إن المنطق وحده هو الذى يتعلق بالبحث عما إذا كانت قضية ما صادقةج أو كاذبة ، وذلك على زساس المعانى المبينة فى حدود القضية . إننا نعرف الحد " كلب " مثلاً ، على هذا النحو : X كلب إذا وفقط إذا كان X حيواناً له خواص معينة " . ولكونه حيوان فهو جزء من معنى الحد " كلب " رذا جرى على أساس هذا المفهوم تأكيد بأن " كل الكلاب حيوانات " ـ وهذا ما أطلق عليه كانط اسم حكم تحليلى " An Analytic Judg-ment " ، فهو لم يتضمن شيئاً سوى معنى علاقات الحدود . ولم يضع كانط المسألة بهذه الطريقة تماماً ، ولكن هذا ما كان يعنيه بشكل أساسى .

ومن ناحية أخرى ، فإن قضية تركيبية مثل " يدور القمر حول الأرض " تنطوى على مضمون واقعى " A factual Content " لأنها كمعظم القضايا العلمية تركيبية لأنها تمضى وراء المعانى المحدودة للحدود ، وتخبرنا بشىء ما عن طبيعة العالم .

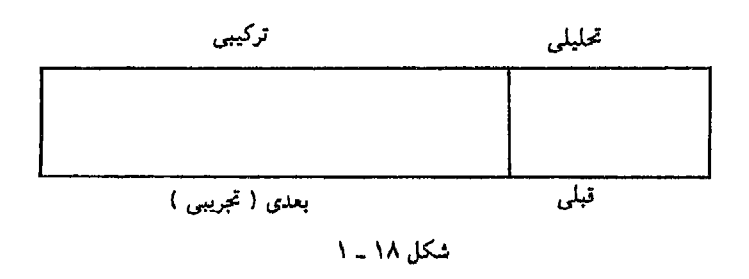
أما التمييز بين القبلى والبعدى إنما هو تمييز معرفى ( أبستمولوجى ) ، يميز بين نوعين من

المعرفة . يقصد كانط بالقبلى نوع من المعرفة لا تعتمد " Inderpendent " ( أو تستقل ) عن التجربة . ولكن معنى الاستقلال هنا ليس توكيدياً " A genetic " أو سيكلوجيا . فقد كان على علم كامل بأن المعرفة الإنسانية كلها إنما تعتمد على معنى توليدى فى التجربة . ومن الواضح أنه بدون تجربة لن يكون ثمة معرفة من أى نوع . ولكن هناك أنواع معينة من المعرفة تكتسب من التجربة وأنواع أخرى لا تكتسب منها . خذ على سبيل المثال القضية التحليلية " كل الكلاب حيوانات " ليس من الضرورى أن نشاهد الكلاب حتى نصوغ هذا التقرير " Asser-tion " أو الإثبات ، وليس من الضرورى للكلاب أن توجد . ولكن من الضروروى فقط أن نكون قادرين على أن ندرك شيئاً مثل كلب ، كان قد تم تعريفه بطريقة جعلت من كونه حيواناً يدخل تحت هذا التعريف ـ وكل القضايا التحليلية قبلية بهذا المعنى ، أى ليس من الضرورى أن نشير إلى التجربة لكى نبررها . وصحيح أننا نستنتج إن الكلاب حيوانت ، من خبرتنا بالكلاب ، ولكن هذا هو المعنى الواسع لكلمة خبرة أو تجربة " Experience " ، والذى نقول فيه أن كل شىء نعرفه يعتمد على التجربة . النقطة التى نريد التشديد عليها هى أنه ليس من الضرورى أبداً أن نشير إلى التجربة لتبرير صدق قضية تحليلية . كما أننا لسنا فى حاجة إلى القول : " إننا فحصنا أمس الكلاب وبعض الكائنات التى ليست بكلاب ، ثم فحصنا بعض الحيوانات وبعض الكائنات التى ليست بحيوانات ، وأخيراً استنتجنا على أساس هذا الفحص أن جميع الكلاب حيوانات ! . بل على العكس من ذلك . أن القضية " كل الكلاب حيوانات " مبررة بذاتها ، بدليل أنه متضمنة فى معنى لغتنا ، فالحد " كلب " مفهوم له معنى ، يتضمن " كونه حيواناً " ، فهى مبررة بنفس الطريقة التى نبرر بها صدق القضية التحليلية " الحصان المقرن ، له قرن وحيد على جبهته " ، إذن أن معانى الحدود تتضمن صدق القضايا ، دون رجوع إلى أى استدلال متعلق بالعالم الخارجى .

وعلى العكس من ذلك ، القضايا البعدية إنما هى تقريرات لا يمكن تبريرها دون رجوع إلى التجربة . خذ على سبيل المثال القضية التى تقرر أن " القمر يدور حول الأرض " لا يمكن تبرير صدقها بتحليل معانى الحدود " القمر و " الأرض " و " يودر حول " بل أن المعنى الحرفى لكلمة " قبلى " يأتى من الكلمة " سابق " Priori " . ولكن توضيح كانط الكامل لهما لم يكن يشير إلى المعنى المعاصر . فهو لم يقصد بالمعرفة البعدية ، أن تجربة قد تحدث قبل أن تكون المعرفة مكتسبة ، فبهذا المعنى ، تكون التجربة بالطبع سابقة على كل معرفة ، وإنما كان يقصد أن التجربة إنما هى علة جوهرية " An Essential reason " لتأييد معرفة بعدية . إذ بدون تجارب خاصة معينة ( وتكون هذه التجارب ، فى حالة دوران القمر حول الشمس ، عبارة عن

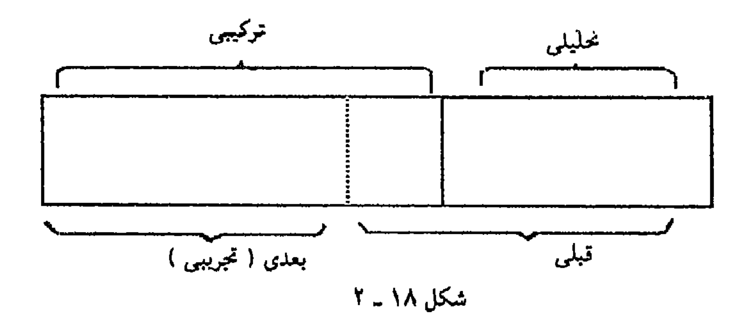
إجراء مشاهدات فلكية مختلفة ) ، يستحيل أن نبرر قضية بعدية . وبمعنى تقريبى يمكن أن تسمى المعرفة البعدية اليوم ، بالمعرفة الامبيريقية " Empeirical " ، وهى تلك المعرفة التى تعتمد بشكل أساسى على التجربة " Experience " . أما المعرفة القبلية فإنها لا تعتمد على التجربة .

ومن الواضح ، كما ذكرنا من قبل ، أن كل القضايا التحليلية قبلية . ولكن يثار الآن سؤال هام : هل يشترك خط الحد الفاصل بين القبلى والبعدى ، مع خط الحد الفاصل بين التحليلى والتركيبى ؟ رذا اشترك الخطان ينبغى أن يصنعا شكلاً تخطيطياً شبيهاً بما هو مبين بالشكل ١٨ ـ ١ .




شكل ١٨ ـ ١

ولكن برما لا تشترك الحدود ، فلا يمكن أن يقع الخط الفاصل بين القبلى والبعدى على يمين الخط بين التحليلى والتركيبى ( لأن القضايا التحليلية ، قضايا قبلية أيضاً ) ، ولكنها يمكن أن تقع على اليسار ، كما هو مبين بالشكل ١٨ ـ ٢ .




شكل ١٨ ـ ٢

وإذا كان الأمر كذلك ، إذن هناك منطقة متوسطة يتداخل فيها التركيبى مع القلى . وهذه هى وجهة نظر كانط ، هناك منطقة " A realm " أو حيز من المعرفة تركيبية وقبلية معاً . تركيبية

لأنها تخبرنا بشيء ما عن العالم ، وقبلية لأنه يمكن معرفتها بيقين دون حاجة إلى تبرير التجربة . ولكن هل توجد حقاً مثل هذه المنطقة ؟ إن هذه المسألة واحدة من المسائل التى أثارت جدلاً عنيفاً فى تاريخ فلسفة العلم . وكما لاحظ موريتز شليك " Mortiz Schlick " بحق ، إنك يمكن أن تعرف المذهبى التجريبى " Empiricism " بأنه ذلك المذهب الذى يقول بوجهة النظر التى تؤكد على أنه ليس ثمة ما هو قبلى تركيبى . هذا إذا أردت أن توجز فى تعريفك أشد الإيجاز ، ولقد استقى كانط أمثلته الرئيسية على المعرفة التركيبية القبلية من الهندسة ، وكان دليله على ذلك هو ، أنك إذا وضعت فى الاعتبار بديهيات " Axioms " الهندسة ( وكان يعنى بذلك الهندسة الأقليدية ، لأن أى هندسة أخرى فى عصره ، لم تكن قد انتشرت بعد ، فإنك تعجز عن تخيل عدم صدقها . هناك مثلاً مستقيم واحد ، وواحد فقط ، بين نقطتين ( يزودنا الحد بيقين كامل ) ويمكنكو بالطبع أن تتخيل هذا الخط المستقيم الواصل بين النقطتين ، ولكن أى خط آخر يصل بينهما لابد أن يكون منحنياً وليس مستقيماً . ومن ثم ، علينا أن نمنح ثقتنا كاملة ـ كما حثنا علي ذلك كانط ـ فى كل بديهيات الهندسة . ولأن كل نظريات الهندسة مشتقة من البديهيات علينا أيضاً أن نمنح ثقتنا كاملة فى صدق النظريات الهندسية . أا اليقين الكامل الذى يعود إلى الهندسة ، فإن سببه أن الهندسة ليست فى حاجة إلى أى تبرير تجريبى . إذ ليس من الضرورى أن نضع نقاطاً على صفحة من الورق ونرسم عدة خطوط لكى نبرهن على القضية التى تقرر بأنه لا يصل بين نقطتين إلا خط مستقيم واحد فقط ، لأنها مبررة بالحدس ، وعلى الرغم من أن النظرية الهندسية قد تكون شديدة التعقيد ، وغير واضحة على الإطلاق إلا أننا يمكننا البرهنة عليها تدريجياً بخطوات منطقية وصولاً إلى البديهيات المؤكدة حدساً . بالاختصار كل الهندسة قبلية .

ويواصل كانط قوله ، أن نظريات الهندسة ، ،من ناحية أخرى ، تخبرنا عن شيء ما فى العالم . خذ على سبيل المثال النظرية التى تقررأن مجموع زوايا المثلث تساوى ١٨٠ درجة . بالطبع يمكن أن تشتق منطقياً من بديهيات اقليدية ، ومن ثم فإن معرفة صدقها يكون قبلياً ـ ولكن من الصحيح أيضاً ، أننا لو رسمنا مثلثاً وقمنا بقياس زواياه ، فإن مجموع هذه الزوايا تكون ١٨٠ درجة أيضاً ، وإن لم تكن كذلك فإن الفحص الدقيق للرسم الهندسى سوف يظهر لنا أن الخطوط لم تكن مستقيمة تماماً أو ربما كانت المقاييس غير دقيقة تماماً . إذن فالنظريات الهندسية تتعدى مجرد كونها قضايا قبلية ، وإنما هى تصف زيضاً البناء الفعلى للعالم ، ومن ثم فهى تعد أيضاً قضايا تركيبية . ومع ذلك من الواضح أنها ليست تركيبية بالمعنى الذى نفهمه من القوانين العلمية . إذ أن القانون العلمى لا يتم تبريره إلا بالتجربة فمن السهل أن نتخيل أن

الغد قد يأتى بحادث يتعارض مع قانون علمى مفترض ومن السهل أن تفترض أن الأرض تدور حول القمر لا العكس ولا يمكن أبداً التأكيد على أن العلم سوف يتوقف من التوصل إلى اكتشافات تتطلب تعديلات جذرية لحقيقة افترضنا من قبل أنها ثابتة ولكن الأمر ليس كذلك مع القوانين الهندسية . لأن من غير المعقول التوصل إلى اكتشافات جديدة فى الهندسة تضطرنا إلى تعديل نظرية فيثاغورية صحيحة . " pythagorean Theorem " فالهندسة الإقليدية يقينية حدساً ، وهى مستقلة عن التاجربة . لقد كان كانط مقتنعاً أن العهندسة تعطينا النموذج الكامل لوحدة المعروفة التركيبية والقبلية .

ولكن من وجهة النظر الحديثة يبدو أن الموقف يختلف تماماً . ولا ينبغى أن تلوم كانط على خطئه لأن الهندسة اللا إقليدية فيذ عصره لم تكن قد أكتشفت بعد ولم يكن فى إمكانه التفكير فى هندسة بأية طريقة أخرى . ولاواقع أن الرياضيين أنفسهم ، طوال القرن التاسع عشر كله ، قد سلموا بوجهة النظر الكانطية باستثناء القليل من الأفراد الجسورين أمثال جاوي " Gauss " ، وريمان " Riemann " ، وهيللمهولتز " Helmholtz " .

واليوم يسهل علينا أن نكتشف مصدر الخطأ الذى وقع فيه كانط . إنه ببساطة الفشل فى إدراك وجود نوعين أساسين مختلفين من الهندسة ـ النوع الأول هو الهندسة الرياضية والآخر الهندسة الفيزيائية .

إن الهندسة الرياضية هى تلك الهندسة التى تنتمى إلى عالم الرياضيات البحتة ، وهى بكلمات كانطية ، تحليلية وقبلية وليس فى الإمكان أن نقول عنها أنها زيفاً تركيبية . لأن النسق الاستنباطى إنما يقوم على بديهيات معينة ، هذه البديهيات لا تستمد يقينها من العالم الخارجى ، وإنما هى صادقة فى أى عالم ممكن . كما أنه يمكن البرهنة على هذا النسق بطرق عديدة مختلفة ، كتلك التى ذكرها برتراند راسل فى كتابه المبكر " أصول الرياضيات " " The Frinciples of Mathematics " (١) ( وهذا الكتاب لا يكتنفه الغموض ، كما هو الحال فى كتابه الأخيـــــر " مبادىء الرياضيات " " برنكيبيا ماثماتيكا ( " pricipia Mathe-matica " (٢) . يبين رسل كيف يمكننا أن نعرف المكان الأقليدى على نحو كامل بوصفه نسقاً من العلاقات الأولية التى تفترض خواص بنائية معينة فهناك مثلاً العلاقة التماثلية (٣) ، والعلاقة المتعدية (٤) ، وهناك علاقة أخرى هى العلاقة اللاتماثلية (٥) ، وهكذا . وعلى أساس هذه الافتراضات يمكن أن نشتق منطقياً مجموعة من النظريات عن المكان الإقليدى ، وهى

نظريات تسترعب كل الهندسة الإقليدية . هذه الهندسة لا تخبرنا بأى شىء على الإطلاق عن العالم الخارجى . وإنما هى تقول فقط ، إذا كان هناك نسق معين من العلاقات ، وكان لهذا النسق خواص بنائية معينة ، إذن فهذا النسق سيكون له خواص أخرى تشتق منطقياً من البناء المفترض . والهندسة الرياضية ما هى إلا نظرية للبناء المنطقى . فهى لا تعتمد على الإطلاق على الأبحاث العلمية ، وإنما هى متعلقة فقط بتضمينات منطقية مفترضة من البديهيات .

أما الهندسة الفيزيائية ، من الناحية الأخرى ، فهى معنية بتطبيق الهندسة البحتة على العالم . وهنا تكتسب مصطلحات الهندسة الأقليدية معناها المعتاد ، فالنقطة يقابلها موقع فعلى فى المكان الفيزيائى ، ولا يمكننا بالطبع أن نشاهد نقطة هندسية ، ولكن يمكننا أن نشاهد وأن نرسنم ، على وجه التقريب ، خطوطاً وسطوحاً مستوية ، ومكعبات ... إلخ وهذه الكلمات إنما تشير إلى بناءات فعلية فى المكان الفيزيائى الذى اعتدنا عليه ، وهى أيضاً جزء من اللغة البحتة أو الهندسية الرياضية ، وهنا مكمن الخلط الذى وقع فيه رياضو القرن التاسع عشر فيما يتعلق بالهندسة ، لأن نفس الكلمات يستخدمها العالم ، والرياضى البحت ، وكان من الخطأ افتراض أن كلا منهما يستخدم نفس النوع من الهندسة .

والآن أصبح التمييز بين الهندستين واضحاً ، وبصفة خاصة من خلال العمل الشعير الذى قدمه زافيد هلبرت " David Helbert " والمسمى " أسس الهندسة (٦) " -Founda " tions of Geometry " كتب هيلبرت يقول : " أننا نعتقد هنا فى ثلاثة أنساق متميزة من العناصر ولسوف نطلق على عناصر النسق الأول اسم النقاط " Points " ، وعلى عناصر النسق الثانى اسم الخطوط " Lines " ، وعلى عناصر النسق الثالث اسم الأسطح " planes " ، وعلى الرغم من أنه أطلق على هذه الكتابات أسماء " نقاط " و " تخطيط " و " أسطح " إلا أنه لم يذكر أى شىء عما تعنيه مثل هذه الكلمات . ولكن كان استخدام هذه الكلمات ملائماً فقط لأنها كانت مألوفة ، ومن ثم فقد ساعدت القارىء على تكوين صورة ذهنية عن تفسير يمكن أن ينطبق على هذه الحدود . ولأن النسق الهندسى الذى اقترحه هيلبرت ، كان يخلو تماماً من أى تفسير ، فمن الممكن أن تؤخذ " النقاط " و " الخطوط " و " الأسطح " بوصفها فئات ثلاث وظيفتها تحقيق العلاقات المقررة فى البديهيات ، فعلى سبيل المثال ، بدلاً من النقاط والخطوط والأسطح الفيزيائية يمكن للمرء أن يفسر " النقطة " بوصفها مضاعفة ثلاثية متوالية -An Or " dered Triple " لأعدا حقيقية . وحينئذ يكون " الخط " عبارة عن فئة " A Class " لمضاعفات ثلاثية متوالية لأعداد حقيقية تحقق معادلتين من الدرجة الأولى ، أما السطح فهو فئة

لمضاعفات ثلاثية تحقق معادلة واحدة من الدرجة الأولى . ولأن الحدود فى الهندسة البحتة أو الرياضية لا تستخدم بالمعنى العادى ، مثلها فى ذلك مثل النقاط " و " الخطوط " و " الأسطح " ، إذن يمكن أن نضع لها تفسيرات ممكنة لا نهاية لها .

واعتقد أن فهمنا لهذا التمييز الذى يقوم بين الهندسة البحتة والفيزيائية يوضح لنا سبب الإضطراب الذى وقع فيه كانط ومعظم فلاسفة القرن التاسع عشر . إنهم ببساطة وحدوا بين مجالين مختلفين تماماً فى سماتهما . لأننا عندما نفكر فى الهندسة الرياضية فإننا نقرر أنها " هندسة قبلية

بالتأكيد " ولا يمكن الشك فى صدق نظرياتها على الإطلاق . ولكن افترض إننا أضفنا " وهى زيضاً تخبرنا بشىء ما عن العالم الخارجي . ويمكننا عن طريقها أن نتنبأ بحاصل المقاييس التى تجر بها على البناءات الهندسية الفعلية " . فإننا نكون بذلك قد انزلقنا دون أن ندرى إلى المعنى الآخر للهندسة الرياضية ، أى نكون قد تحدثنا عن الهندسة الفيزيائية ، عن البنية الفعلية للمكان . صحيح أن الهندسة الرياضية قبلية ، وأن الهندسة الفيزيائية تركيبية ، ولكن ليس ثمة هندسة أخرى تجمع بينهما . وإذا أردنا حقاً أن نقبل المذهب التجريبى " Empiricism " فلا مجال لمعزفة من أى نوع تجمع بين ما هو قبلى وما هو تركيبى .

وفيما يتعلق بالمعرفة فى الهندسة ، فإن التمييز بين نوعى الهندسة يعد شيئاً أساسياً ، ومعروفاً الآن على نطاق العالم كله . أما عندما تثير مسألة تتعلق بطبيعة المعرفة الهندسية ، كأن تســــأل سائلاً : " أى نوع من الهندسة تفكر به ؟ هل تتحدث عن هندسة رياضية أم فيزيقية ؟ " فإن التمييز الواضح هنا يكون ضرورياً لكى تتجنب الاضطراب ولكى تستوعب الإسهامات الثورية التقدمية التى أتت بها نظرية النسبية .

ولقد تمكن أينشتين من تقديم أوضح تمييز لهاتين الهندستين ، وفى عبارات شديدة والإحكام ، وذلك فــــى ختام محاضرة له بعنوان الهندســـة والتجربـــة " Geometry and Experi-ence " (٧) . لقد كان اينشتين يتحدث عن الرياضيات ، ولكنه كان يعنى بذلك الهندسة ، وبالطريقتين اللتين يمكن فهمها . قال : " أن النظريات الرياضية الي تتحدث عنالواقع ، غير يقينية ، وطبقاً للمصطلح الكانطى يعنى هذا أنها حتى الآن تركيبية ، وليست قبلية ، ويستمر فى قوله " ولأنها لا تتحدث عن الواقع ، فهى يقينية . وطبقاً للمصطلح الكانطى أيضاً يعنى

هذا أنها حتى الآن قبيلة وليست تركيبية .

ولقد قرر كانط أن المعرفة القبلية ، يقينية ، ولا يمكن أن تكون متناقضة مع التجربة . أم نظرية النسبية فقد أوضحت لكل ذى فهم أننا لو أخذنا الهندسة بهذا المعنى القبلى ، فهى لا تخبرنا بشىء عن الواقع " Reality " لأنه ليس ثمة قضية ممكنة تقترن باليقين المنطقى عن معرفة البنية الهندسية للعالم .

***

## هوامش

١ ـ انظر الباب السادس من كتاب مبادىء الرياضيات ( كمبردج : كمبردج يونيفرستى برس ، ١٩٥٣ ) ، ( والطبعة الثانية ، بمقدمة جديدة ، لندن : ألن أند أنوين ، ١٩٣٨ ، ( ونيويورك : نورتون ، ١٩٣٨ ) .

٢ ـ لقد اشترك هوايتهد Whitahead فى تأليف كتاب " البرنكيبيا " مع رسل ويعد هذا الكتاب بمثابة إنقلاب خطير فى أبحاث المنطق والرياضيات على السواء فقد لعب دوراً هاماً فى تطوير المنطق الرياضى . ( المترجم ) .

٣ ـ العلاقات التماثلية " Symmetrical Relation " يقال عن علاقة ما أنها تماثلية رذا كانت العلاقة التى بين أ ، ب هى نفسها التى تقوم بين ب ، أ وبين أمثلة هذه العلاقة المساواة فإذا قلنا أن أ = ب فإن ب = أ . ( المترجم ) .

٤ ـ العلاقة المتعدية " Transitive Relation " : وهى العلاقة التى رذا قامت بين أ ، ب وبين ب ، جـ فإنها تقوم أيضاً بين أ ، جـ ، ومن أمثلة هذه العلاقة علاقة قبل وبعد ، وأكبر وأصغر .. إلخ ، مثل أ أكبر من ب و ب أكبر من جـ إذن أ أكبر من جـ . ( المترجم ) .

٥ ـ العلاقة الاتماثلية " Asymmetrical " : هى العلاقة التى رذا كانت بين أ ، ب لا تقوم بين ب ، أ ، ومن أمثلتها علاقة أكبر من ، فإذا قلنا أن أ أكبر من ب فلا يمكن أن نقول أن ب أكبر من أ . ( المترجم ) .

٦ ـ ظهر كتاب أسس الهندسة " لهيلبرت أول مرة فى ألمانيا عام ١٨٩٩ " ونقله إلى الإنجليزية ترنسند Tounosed " " ، وقامت دور نشر أوبن كورت Open Court فى شيكاغو بنشره عام ١٩٢٠ ، ومنذ ذلك الحين ذاع صيته بوصفه أحد المراجع الرئيسية .

٧ ـ نشرت محاضرة أينشتين منفصلة تحت عنوان " Geometry and Exparimnce " ( بيرلين عام ١٩٢١ ) وترجمت أخيراً إلى الإنجليزية مع شروح قام بها البرت إينشتين للنظرية النسبية ( نيبوبـــورك : داتون " Dutten " ، ١٩٢٣ ) .

## الفصل التاسع عشر

# السببية

يعد مفهوم السببية ، واحدا من الموضوعات الرئيسية فى فلسفة العلم فى عصرنا الراهن ، وقد شغل اهتمام مشاهير الفلاسفة منذ عصر اليونان القديم وحتى العصر الحاضر . ففى العصور السالفة كان محورا لما يسمى بفلسفة الطبيعة ، ذلك الحقل الذى اشتمل على كل من البحث الطبيعى التجريبى من ناحية والتفسير أو الاستيضاح الفلسفى للمعرفة من ناحية أخرى . أما اليوم فلقد أصبح جليا أن البحث الطبيعى هو مهمة العالم التجريبى وليس مهمة الفيلسوف .

بيد أن الفيلسوف يمكنه بالطبع أن يكون فيلسوفا وعالما . فإذا كان الأمر كذلك ، كان لزاما عليه أن يتوخى الحذر من الاختلاف الأساسى الذى يقع بين نوعى الأسئلة التى ينبغى عليه أن يطرحها . فإذا طرح أسئلة من نوع ، " كيف تشكلت فوهات براكين القمر ؟ " أو " هل ثمة جماعة تألفت من اللامادة ؟ فهو بذلك إنما يضع أسئلة علماء الفلك والفيزيائيين . أما إذا وجه أسئلته المباشرة ، ليس تجاه عالم الطبيعة ، وإنما تجاه تحليل المفاهيم ( التصورات ) الأساسية للعلوم ، فهو بذلك إنما يضع أسئلة فى فلسفة العلوم .

ولقد كان الاعتقاد السائد عند فلاسفة العصور القديمة ، أن ميدان المعرفة الحقيقى يكمن " فيما وراء الطبيعة " وأن هذا الميدان أعمق وأكثر أهمية من أى علوم تجريبية ، وكانت مهمة الفلاسفة فى ذلك الحين ، تنحصر فى تفسير الحقائق الميتافيزيقية . أما اليوم فإن فلاسفة العلوم لا يعتقدون فى وجود مثل هذه الميتافيزيقا . فقد استبدلت فلسفة العلوم ، بفلسفة الطبيعة القديمة وأصبحت هذه الفلسفة الحديثة لا تولى اهتماما باكتشاف الحقائق والقوانين ( فهى مهمة العلماء التجريبيين ) ، ولا بصياغة مفاهيم ميتافيزيقية عن العالم . وإنما بدلا من ذلك ، تولى اهتماما فقط بالعلوم ذاتها ، تدرس مفاهيمها المستخدمة ، وطرق البحث فيها ، والنتائج الممكنة ، وصور القضايا ، والنماذج المنطقية التى تنطبق عليها . وبكلمات أخرى ، تولى اهتماما إلى مثل هذا النوع من المشكلات التى نناقشها فى هذا الكتاب فقد أضحى فيلسوف العلم يدرس الأسس

المنطقية والبحثية لعلم النفس ولايدرس " طبيعة العقل " ويدرس الأسس الفلسفية للانثروبولوجيا ولايدرس " طبيعة الثقافة " إذن فهناك اهتمام أولى ، فى كل ميدان من ميادين العلم ، بمفاهيم وطرق بحث هذا الميدان .

ولقد حذر بعض الفلاسفة من وضع حد فاصل متميز ، بين عمل العلماء فى هذا المجال المعين ، وعمل فلاسفة العلوم الذين يولون اهتماما بهذا المجال . ولهذا التحذير وجاهته فعلى الرغم من أن عمل العالم التجريبى وعمل فيلسوف العلوم كلاهما متميز عن الآخر دائما ، إلا إن المجالين عادة ما يمتزجان عمليا ، فكثيرا ما يفترض العالم مسائل متعلقة بطرق البحث ، مثل أى نوع من المفاهيم ينبغى عليه أن يستخدم ؟ وماهى القواعد التى تحكم مثل هذه المفاهيم ؟ وبأى الطرق المنطقية يمكنه أن يعرف هذه المفاهيم ؟ وكيف يمكنه أن يضع مفاهيمه معا فى قضايا ، وأن يضع القضايا فى نسق منطقى محكم ؟ أو فى نظرية ؟ كل هذه المسائل ينبغى أن يتعرض لها بوصفه فيلسوف علوم . ومن الجلى أن مثل هذه الأسئلة لا يمكن الإجابة عنها بإجراءات تجريبية . ومن ناحية أخرى ، يستحيل إنجاز عمل هام فى فلسفة العلوم دون معرفة الكثير عن النتائج التجريبية للعلوم . ففى هذا الكتاب على سبيل المثال ، وجدت أنه من الضرورى التحدث باستفاضة عن بعض الملامح الخاصة لنظرية النسبية . ولم أناقش التفصيلات الأخرى فى النظرية ، لأنها كانت معنية مبدئيا بتوضيح الفرق الهام بين الهندسة التجريبية والهندسة الرياضية أو البحتة . وإذا لم يكن لدى طالب فلسفة العلوم فهم للعلم ، فلن يستطيع حتى أن يطرح مسائل هامة عن تصوراتها أو طرق بحثها .

ومن الأسباب الهامة التى حدت بى إلى التمييز بين مهمة فيلسوف العلوم ، ومهمة الميتافيزيقى الذى هو فيلسوف الطبيعة السابق له ، هو أن هذا التمييز هام جدا لتحليل السببية ، موضوع هذا الفصل . فلقد كان الفلاسفة القدامى يهتمون بالطبيعة الميتافيزيقية للسببية ذاتها . أما نحن ، فاهتمامنا هنا ينصب على دراسة كيفية استخدام العلماء التجريبيين لمفهوم السببية ، وحتى نكون أكثر وضوحا ، فما الذى كانوا يعنونه عندما يقولون أن هذا سبب لذلك ، وبالتحديد ، ماذا تعنى علاقة السبب بالسبب ؟ وبالتأكيد فى الحياة اليومية ، التصور غامض ومبهم . وحتى فى العلوم ، غالبا لايكون واضحا ما يعنيه العالم عندما يقول أن حدثا ما قد " سبب " آخر . أن واحدة من أهم مهمات فيلسوف العلم ، هى أن يحلل مفهوم السببية ويوضح معناه .

والحقيقة أن الأصل التاريخى للتصور يكتنفه الغموض إلى حد ما ، فمن الواضح أنه نشأ

كنوع من اسقاط التجربة الإنسانية على عالم الطبيعة . فعندما تدفع منضدة ، تشعر بتوتر فى العضلات . وعندما يلاحظ شئ ما مشابه لهذا فى الطبيعة ، مثل كرة بلياردو وتصدم بأخرى فمن السهل أن نتخيل أن هذه الكرة قد أعطتنا ( منحتنا ) تجربة شبيهة بتجربتنا عن اندفاع المنضدة . إذن اصطدام الكرة هو الفاعل . إنها تفعل شيئا ما للكرة الأخرى فتجعلها تتحرك . ومن السهل أن نرى كيف أمكن لانسان الثقافات البدائية أن يفترض وجود عناصر حية فى الطبيعة ، تشبهه تماما ، هذه العناصر الحية هى التى أرادت لأشياء معينة أن تحدث وهذا ما أمكنه فهمه على وجه الخصوص من الظواهر الطبيعية التى تسبب أذى شديدا . فالجبل يمكن له أن يلام على تسببه لانهيار أرضى ، أو الزوبعة على تسببها فى ضرر قرية .

وفى أيامنا هذه فان الانسان المتحضر ، وبالتأكيد العلماء ، لايأخذون بهذا التشبيه الانسانى الذى يقترب من الطبيعة ، ومع ذلك تميل عناصر التفكير الروحانى إلى الاصرار على الأخذ به . افترض أن حجرا حطم نافذة . هل مال الحجر إلى فعل هذا ؟ بالطبع لا . سيقول العالم الحجر هو الحجر ، إنه يخلو من روح قادرة على التمييز . وعلى الجانب الآخر ، فإن معظم الناس ، وحتى العالم نفسه ، لن يترددوا فى القول أن الحادث "ب" الذى هو تحطيم النافذة ، سببه الحادث " أ " الذى هو اصطدام الحجر بالزجاج . ما الذى يعنيه العالم عندما يقول أن الحادث " ب " سببه الحادث " أ " ؟ ومن الممكن أن يقول أن الحادث " أ " سعى إلى اتمام الحادث " ب " أو " نتج عنه " الحادث " ب " . وهكذا ، يمكنك أن ترى أنه عندما يحاول أن يشرح معنى " السبب " ، يقع فى مثل هذه العبارات " يسعى إلى اتمام " ، " يولده " " يخلق " ، " ينتج عنه " . ولقد استعرنا مثل هذه العبارات الميتافيزيقية ، من النشاط الانسانى ، ذلك النشاط الذى يمكنه ـ بالمعنى الحرفى ـ أن يولد ويخلق ، وينتج الحوادث الأخرى المختلفة ، ولكن فى حالة الحجر ، يستحيل أن يؤخذ بهذا حرفيا . ومن ثم تصبح الإجابة عن السؤال " مامعنى القول أن حدثا سبب آخر ؟ " غير مرضية على الاطلاق .

إذن بات من الضرورى أن نحلل هذا التصور الغامض للسببية ، حتى نخلصه من كل ما علق به من عناصر غير علمية قديمة . ولكن يجدر بى أولا أن أوضح نقطة هامة ، هى أننى لا اعتقد أن هناك أى سبب لرفض تصور السببية . فقد اعتقد بعض الفلاسفة أن ديفيد هيوم ، فى انتقاده الشهير للسببية عنى برفض التصور كلية . واعتقد أن هذا لم يكن مقصد هيوم ، فهو لم يعن برفض التصور ، وإنما فقط بتنقيته . وسوف تكون هذه المسألة محل اعتبار فيما بعد ، ولكننى أود الآن أن أقرر أن مارفضه هيوم هو عنصر الضرورة فى تصور السببية ، وكان تحليله ذاك

سائرا فى الاتجاه السليم ، على الرغم من أنه ، فى رأى فلاسفة العلوم اليوم ، لم يمض أبعد من ذلك ، كما أنه لم يكن واضحا بشكل كاف . وفى رأيى ليس من الضرورى أن ننظر إلى السببية بوصفها تصورا قبل علمى " Pre-Sceintific Concept " ميتافيزيقى بشكل يحط من قدره ، وبناء على ذلك نستبعده ، ولكن بعد أن حلل هذا التصور ، واشبع شرحا ، وجد أن هنالك شيئا ما عالقا به ، يمكن أن نطلق عليه اسم السببية ، وهذا الشئ يبرر استخدامه لعدة قرون ، سواء بالنسبة للعلماء ، أو فى الحياة اليومية .

ولسوف نبدأ الآن تحليله بسؤال : ماهى أنواع الموجودات التى تنعقد بينها علاقة سببية ؟ والكلام الدقيق هو ، أنه ليس الشئ الذى يسبب حدثا ، وإنما هو عملية " A process " . إننا فى الحياة اليومية نتحدث عن أشياء معينة تسبب حوادث ، ولكن مانعنيه حقيقة ، هو أن عمليات أو حوادث معينة تسبب عمليات أو حوادث أخرى . فعندما نقول أن الشمس سبب نمو النباتات ، فإن ما نعنيه حقيقة هو الاشعاع الذى يصدر عن الشمس . إذن السبب فى الحقيقة هو عملية . ولكن إذا جعلنا " العلميات " أو " الحوادث " موجودات تشتمل على علاقات سبب ومسبب ، لوجب علينا أن نعرّف هذه الحدود بمعنى واسع جدا .وينبغى أن نضمنها ـ وهذا ما لانفعله فى الحياة اليومية ـ عمليات ثابتة ) .

خذ مثلا منضدة إننى لا ألحظ أى شئ عن تغيرها ، ربما تحركت بالامس ، وربما تتلف أو تتحطم فى المستقبل ، ولكن فى هذه اللحظة لا ألحظ أى تغيير . ويمكن افتراض أن درجة حرارتها ، وكتلتها ، وحتى تأثير الضوء على سطحها ، وهكذا ، يبقى بلا تغيير للحظة معينة . هذا الحادث أيضا ـ وجود منضدة لا تغيير ـ عملية . وهو عملية ثابتة . أحدها أن الاحجام المناسبة تبقى مستمرة فى الزمن . وإذا ما تحدثنا عن العمليات أو الحوادث باعتبارها تتضمن علاقة سبب ومسبب ، لوجب التعرف على ذلك على أساس أن هذه الحدود تشتملعلى عمليات ثابتة ، تدوم عند أى تتابع للحالات فى النظام الفيزيائى سواء تغيرت أو لم تتغير .

وهناك حالات غالبا ما يقال عنها أنها ظروف أو شرط ، وهى فى الحقيقة أسباب ومسببات بيد أن هذه طريقة ليس مسموحا بها فى الحديث ، لأنه ليس ثمة خطر هنا على الحدود التى تؤخذ بمعنى ضيق ، لأن الشرط الساكن أو الثابت هو أيضا شرط . افترض أننا نبحث حالة تصادم بين سيارتين على طريق مرتفع . لاينبغى أن ندرس فقط الحالات المتغيرة ـ كيف تحركت السيارتان ، سلوك سائقيهما ، وهكذا ، ولكن أيضا الحالات الثابتة ، لحظة الاصطدام . وينبغى

أن نبحث الحالة التى كان عليها سطح الطريق . هل كان مبللا أم جافا ؟ وهل كانت أشعة الشمس ضاربة فى وجه أحد السائقين ؟ يمكن أيضا لأسئلة من هذا النوع أن تكون هامة فى تحديد أسباب الأصطدام . لكى نحلل الأسباب تحليلا كاملا ، ينبغى علينا أن نبحث كل الظروف المواتية ، الثابت منها والمتغير ، فالحالات المتعددة الاختلاف هامة جدا لتنظيم النتيجة النهائية .

وعندما يتوفى أحد الناس ، يقرر الطبيب سبب الوفاة . قد يكتب " تدرن رئوى " كما لو كان شئ واحد فقط هو الذى سبب الوفاة . وفى الحياة اليومية ، غالبا ما نطلب سببا واحدا لحادث ـ سبب الوفاة أى سبب التصادم . ولكن عندما نفحص الحالة بعناية أكثر ، نرى أن هناك العديد من الاجابات التى يمكن أن تجاب عليها ، معتمدة على وجهة النظر التى نشأ عنها السؤال . فمهندس الطــرق يقول : " حسنا ، لقد قلت مرارا وتكرارا أن سطح هذا الطريق وعر للاستخدام بالنسبة لطريق مرتفع ، وعندما يتبلل يحدث تزحلق شديد . والآن هاكم حادث آخر يثبت كلامى " طبقا لقول هذا المهندس كان سبب الحادث ، الطريق المرتفع المسبب للتزحلق . أهتم بالحادث من وجهة نظره ، واعتبره السبب الوحيد . وفى هذا الخصوص هو على حق . فلو أخذوا بنصيحته ، واستبدلوا سطح الطريق بسطح آخر ، لما حدث التزحلق . وأشياء أخرى على نفس المنوال كانت تساهم فى عدم وقوع الحادث . ومن الصعب أن نتأكد من أى حالة خاصة ، ولكن قد تكون هناك امكانية فى أن يكون المهندس علــى حق . فهو عندما أصر على أن " هذا هو السبب " كان يعنى : أن هذه الحالة هامة لمثل هذا النوع ، وذلك أنه لو لم تكن هذه الحالة موجودة لما حدث هذا الحادث .

وعندما يسأل أناس آخرون عن سبب الحادث ، ربما يشيرون إلى حالات أخرى . فشرطى المرور المنوط بدراسة أسباب حوادث المرور ، يريد أن يعرف إذا ما خالف أحد السائقين أيا من قواعــد المرور . لأن عمله هو الاشراف على مثل هذه النشاطات ، وإذا وجد أن هذه القواعد قد خولفت ، لفضل اعتبار هذه المخالفة هى سبب التصادم . ويمكن أن يقرر عالم النفس الذى يقابل أحد السائقين ، أن السائق كان فى حالة انفعال ، واكان انفعاله هذا متعلقا بمتاعبه ، فلم يركز انتباهه باقتراب السيارة الأخرى عند التقاطع . ومن ثم قد يقرر عالم النفس أن حالة الاضطراب العقلى للرجل هى سبب التصادم . إنه ينتقى العامل الأكثر تعلقا به من الموقف الكلى ويجعله المثير والسبب الحاسم . وربما يكون أيضا على حق ، لأنه لو لم يكن الرجل فى حالة قلق ، لما تم أو حتى ليس من المحتمل أن يتم الحادث . وربما يجد المهندس المختص ببنية السيارة سببا آخر ، مثل وجود خلل فى بنية واحدة من السيارتين . كما يمكن للميكانيكى أن يشير إلى تلفيات فى

مشتملات الفرامل . ينظر كل شخص إلى الصورة العامة من وجهة نظره وسيجد حالة معينة يقول على أساسها : لو لم توجد هذه الحالة ، لما وقع هذا الحادث .

ومع هذا ، لم يجب أي من هؤلاء الرجال ، على السؤال العام التالى : ماذا كان سبب الحادث ؟ إنهم أمدونا فقط بسلاسل من اجابات جزئية ، مشيرين إلى حالات اشتركت فى النتيجة النهائية . ليس هناك سبب وحيد يمكن أن يكون بمفرده السبب . ومن الواضح حقا أنه لايوجد مثل هذا الشئ كسبب . هناك مركبات عديدة مناسبة فى موقف معقد ، كل منها اشترك فى الحادث بمعنى إذا غاب عنصر منها لما تم التصادم . إذا وجدت علاقة سببية بين الحادث وحادث سابق ، لابد أن يكون الحادث السابق إذن هو كل الموقف السابق . وعندما يقال أن الموقف الأسبق " سبب " الحادث ، فان ما يعنيه ذلك ، هو الموقف المعطى السابق ، بكل تفصيلاته الدقيقة ، وكل القوانين المناسبة التى يمكن أن تجعل الحدث متنبأ به . لايعرف أحد ولايمكنه أن يعرف بالفعل ، كل الحقائق والقوانين المناسبة . ولكن لو عرف شخص ما ، لأمكنه أن يتنبأ بالتصادم . إذن لايشتمل الموقف فقط على القوانين المناسبة للفيزياء والتكنولوجيا ( المتعلقة بالاحتكاك على الطرق ، وحركة السيارات ، والعمليات المتعلقة بالفرامل وهكذا ) وإنما تشتمل أيضا على القوانين الفيزيولوجية والسيكلوجية . يجب إذن أن تكون المعرفة بكل هذه القوانين تماما كالمعرفة بالحقائق الفردية المناسبة مفترضة قبل أن يقال من الممكن التنبؤ بالنتيجة .

ويمكننا أن نلخص نتيجة هذا التحليل بأن : العلاقة السببية تعنى القدرة على التنبؤ أو امكانية التنبؤ " Predictability " . ولايعنى هذا القدرة الفعلية على التنبؤ ، لأنه ليس ثمة من هو محيط بجميع الوقائع والقوانين المناسبة ، ولكنها تعنى القدرة على التنبؤ بهذا المعنى : إذا كان الموقف السابق معروفا ، إذن لأمكن التنبؤ بالحادث . ولهذا السبب ، فاننى عندما استخدم الحد " القدرة على التنبؤ " إنما أعنى بذلك معنى ميتافيزيقيا إلى حد ما .

ولايتضمن ذلك امكانية التنبؤ الفعلى بحادث ما ، ولكن على الأصح ، بامكانية التنبؤ الجزئى . إن معرفة كل الوقائع المناسبة وكل القوانين المناسبة للطبيعة ، يمكن من التنبؤ بالحادث قبل وقوعه . وهذا التنبؤ إنما هو نتيجة منطقية " A Logical Consequence " للوقائع والقوانين . وبكلمات أخرى ، هناك علاقة منطقية تبين الوصف الكامل للحالة السابقة ـ القوانين المناسبة ـ وبين التنبؤ بالحادث .

وكمبدأ يمكن أن تعرف الوقائع المفردة المناسبة فى الحالة السابقة ( أننا نجهل هنا الصعوبة العملية للحصول على كل الوقائع ، تماما مثل التحديدات المفروضة مبدئيا على نظرية الكم فيما يتعلق بمعرفة كل الوقائع دون المستوى الذرى ) . وفيما يختص بمعرفة القوانين المناسبة تنشأ مشكلة أكبر بكثير . أننا عندما نعرّف العلاقة السببية بقولنا أن حادثا يستدل عليه من مجموعة وقائع وقوانين ، فما الذى نعنيه بالقوانين ؟ قد يغرينا القول أن : هذا يعنى تلك القوانين التى نجدها فى الكتب المدرسية للعلوم المختلفة المتعلقة بهذا الموقف ، وأكثر تحديدا ، أنها كل القوانين المناسبة المعروفة فى زمن الحادث ، وبلغة صورية ، الحادث م فى الزمن ن مسبب بالحدث السابق ق ، إذا ، وفقط إذا استدل م من ق بمساعدة القوانين ل ن فى الزمن ن .

ومن السهل أن نتبين أن هذا التعريف غير مفيد كثيرا فى العلاقة السببية خذ المثال العكسى التالى : هناك رواية تاريخية عن الحادث ن الذى حدث فى العصور القديمة متبوعا بالحادث أ . ولم يتمكن الناس الذين عاشوا فى العصر ن١ من تفسير ب ، والآن يمكن تفسير ب عن طريق معرفة قوانين معينة ل وذلك عن طريق بيان أن ب تستتبع منطقيا من أ و ل . ولكن لم تكن القوانين ل معروفة فى العصر ن١ ، لهذا لايمكن تفسير الحادث ب باعتباره نتيجة للحادث أ . افترض ، كفرض علمى تماما ، أن عالما أكد لنا أنه فى الزمن ن١ ، كان الحادث ب مسبب من الحادث أ . يمكن أن يقال عن فرضه هذا أنه صحيح ، على الرغم من أن العالم لم يتمكن من اثباته ، لأنه لم يكن قادرا على اثباته ، ولأن القوانين التى كانت معروفة له ل ن١ ، لم تشتمل على القوانين ل التى تعتبر ضرورية للبرهان . ومهما كان ، لو أن تعريف العلاقة السببية المقترح فى الفقرة السابقة قد حاز القبول ، فمن الضرورى أن نقول أن تقرير العالم كاذب . وذلك لأنه لم يستطع أن يستدل ب من أ ول ن١ . وبكلمات أخرى ، يجب أن يكون تعريفه كاذبا ، حتى لو كان معروفا فى هذه الأيام بأنه صادق .

وعندما نفكر فى حقيقة أن معرفة القوانين العلمية اليوم ، بعيدة تماما عن الاكتمال ، يتضح قصور التعريف المقترح . لأن علماء اليوم يعرفون أكثر من علماء أى فترة سابقة ، وبالتأكيد يعرفون أقل مما سيعرفه العلماء ( على افتراض أن المدنية لن يصيبها التدمير ) بعد مائة عام من الآن . إذن لايمكن للعلم أن يحوز فى أى زمن على معرفة كاملة بكل القوانين الطبيعية . وكما تبين من قبل ، ومهما كان الأمر ، هناك نظم كاملة للقوانين ، أبعد من القوانين المعروفة فى زمن معين ، يجب أن يستدل عليها ، لكى نحصل على تعريف مناسب للسببية .

ومرة أخرى ، مامعنى القول بأن الحادث ب كان مسببا من الحادث أ ؟ يعنى هذا أن هنالك قوانين معينة فى الطبيعة استدللنا منها منطقيا على الحادث ن ، وذلك عندما اشتملت هذه القوانين على وصف كامل للحادث أ . وسواء أكانت القوانين ل مفصلة أم لا فهى غير ملائمة ، وبالطبع تصبح ملائمة لو أكد برهان ما على أنها صادقة . ولكنها غير ملائمة لأنها لم تحقق معنى التقرير . وهذا ما يجعل تحليل السببية يمثل هذه الصعوبة ، اختبارا مزعزعا ، لأنه عندما يشار إلى علاقة سببية ، فهناك دائما دليل قوى " Implicit Reference " بأن ثمة قوانين طبيعية غير متعينة ، وقد تكون دقيقة جدا ، ولكنها بعيدة عن تيار الاستخدام . فإذا قرر شخص ما أن أ كانت سببا لـ ب ، فلابد أنه كان قادرا على التقرير بأن كل القوانين إنما تشتمل على ذلك التقرير وفى كل زمن . فإذا أمكنه أن يذكر جميع القوانين الملائمة ، لبرهن بالطبع على تقريره هذا ، ولكن مع ذلك يظل هذا البرهان ناقصا إلا إذا قبلنا أن ما قرره كان ذا معنى .

افترض أن هناك من راهن على أنها ستمطر اعتبارا من اليوم ولمدة أربعة أسابيع . لن يعرف أحد ما إذا كان هذا التنبؤ صحيحا أم خاطئا ، ومن ثم علينا أن ننتظر أربعة أسابيع قبل أن تقرر المسألة . ولكن مع ذلك فان هذا التنبؤ ذو دلالة واضحة . والتجريبيون على حق بالطبع عندما يقولون أن لا معنى لتقرير ما دون وجوده على الأقل كمبدأ ، أى دون امكانية تقريره أو عدم تقريره بشكل واضح . ولايعنى هذا أن التقرير يكون ذا دلالة ، إذا ، وفقط إذا أمكن تقريره اليوم بوصفه تقريرا صادقا . لأن التنبؤ بالمطر يكون ذا دلالة حتى لو لم نتحقق الآن من صدقه أو كذبه . كما أن التقرير بأن أ سبب ب ، ذو دلالة ، على الرغم من أن المتحدث قد لايكون قادرا على تعيين القوانين اللازمة لاثباته . ويعنى هذا أنه لو كانت كل الوقائع الملائمة المحيطة بـ أ معروفة مع كل القوانين الملائمة ، لأمكن حينئذ حدوث ب المتنبأ بها .

ويثير هذا مسألة صعبة . هل يتضمن هذا التعريف لعلاقة السبب بالمسبب ، أن المسبب يستتبع بالضرورة من السبب ؟ لم يذكر هذا التعريف أى شئ عن الضرورة . إنه يقرر فقط أن الحادث ب يمكن التنبؤ به لو عرفت كل الوقائع والقوانين الملائمة . وربما يكون هذا فرضا جدليا ، لأن الميتافيزيقى الذى يرغب فى ادخال عنصر الضرورة فى تعريف السببية قد يجادلنا بقوله : " صحيح أن كلمة " ضرورة " لم تستخدم ، إنما القوانين تتحدث عن ، وهى تقريرات للضرورة . ولهذا فالضرورة تتدخل مع ذلك ، وهى مركب لازم لأى تقرير على علاقة سببية " .

وفى الفصل التالى ، سنضع فى اعتبارنا ما يمكن أن يقال فى الرد على هذا الزعم .

* * *

## الفصل العشرون

# هل تتضمن السببية الضرورة ؟

هل تتضمن القوانين الضرورة ؟ يصوغ التجريبيون أحيانا موقفهم على النحو التالى : أن القانون ماهو إلا مجرد عبارة أو قضية " Statement " شرطية كلية ، وهو كلى لأنه يصاغ بهذه الطريقة العامة : " فى أى زمان ، وأى مكان ، إذا كان هناك جسم أو نظام فيزيائى فى حالة معينة ، حينئذ فان حالة أخرى معينة سوف تتبعه . " وتختص صورة هذه القضية العامة إذا ـ حينئذ بالزمان والمكان . ويطلق أحيانا على هذه الاطروحة " الشرطانية " أو " المذهب الشرطى " Coditionalism " وطبقا لهذا المذهب يقرر القانون السببى ببساطة أنه عندما يحدث حادث من النوع ن ( و ن ليست حادثا فرديا ، وإنما هى فئة من حوادث ) إذن فإن الحادث من النوع هـ سوف يتبعه . والصورة الرمزية له : (١) ( و ) ( ق و > ك و ) .

وتقرر هذه القضية أنه فى أى زمان ـ مكان (و) إذا حدثت إذن فإن (و) سوف تحدث . ولقد أعترض بعض الفلاسفة بشدة على وجهة النظر هذه ، وكان اعتراضهم منصبا على أن قانون الطبيعة إنما يقرر أكثر من مجرد قضية شرطية كلية صورتها إذا ـ حينئذ . ولكى نتفهم اعتراضهم جيدا علينا أن نعيد النظر ، وبدقة فيما نعنيه بقضية الصورة الشرطية . وبدلا من القضية الكلية رقم ( ١ ) ، علينا أن نفترض حالة جزئية منها فى الزمان ـ المكان أ .

(٢) ق أ > ك أ .

ومعنى هذه القضية هو " إذا حدثت ن فى الزمن أ إذن تحدث هـ فى الزمن أ وهى مفترضة من جدول صدقها الذى يقرر أن هناك أربع حالات ممكنة لقيم الصدق بالنسبة للمركبين فى القضية :

١ ـ إذا كانت " ق أ صادقة ، إذن " ك أ " صادقة .
٢ ـ إذا كانت " ق أ صادقة ، إذن " ك أ " كاذبة .
٣ ـ إذا كانت " ق أ كاذبة ، إذن " ك أ " صادقة .
٤ ـ إذا كانت " ق أ كاذبة ، إذن " ك أ " كاذبة .

أما العلامة التى على شكل حدوة الفرس " > " والتى تعنى ثابت التضمن فاننا يمكننا أن نفهمها من المثال رقم (٢) الذى يقرر أن الحالة الثانية لقيم الصدق لاتنعقد . ولا يقرر أى شئ عن ارتباط سببى بين ق أ و ك أ . فإذا كانت " ق أ " كاذبة ، فإن القضية الشرطية تنعقد بقطع النظر عما إذا كانت " ك أ " صادقة أو كاذبة . وإذا كانت " ك أ " صادقة ، فانها تنعقد بقطع النظر عما إذا كانت " ق أ " صادقة أو كاذبة . ولكنها لاتنعقد فقط فى حالة ما إذا كانت " ق أ " صادقة و " ك أ " كاذبة . (١)

ومن الواضح أن هذا لايعد تفسيرا قويا لقانون . فإذا قيل مثلا أن الحديد يتمدد بالحرارة ألا يعنى أن حادثا يتبع آخر ؟ ويمكن أن يقال أيضا أن الأرض تدور إذا سخن الحديد . وهى أيضا قضية شرطية . ولكن لايمكن أن تقول عنها أنها قانون ، لأنه ليس ثمة ما يدعونا إلى الاعتقاد بأن دوران الأرض له أية علاقة بتسخين الحديد . ومن ناحية أخرى ، عندما يذكر القانون فى صيغة شرطية ألا يحمل معه معنى المركب الذى يقرر نوعا ما من الارتباط بين حادثين ، هذا الارتباط أكثر وأعلى من مجرد الاقرار بأنه إذا حدث حادث سيتبعه آخر ؟

الحقيقة أن هناك شيئا ما هو الذى تتجه إليه النية أو القصد ، وهو عادة ما يكون " أكثر " من مجرد ما يقرره القانون ، ولكن هذا الشئ " الأكثر " هو على وجه التحديد الذى يصعب تحليله . وهنا تواجهنا مشكلة الفصل فى أمر البنية الدقيقة للقضية المصاغة فى لغة انجليزية والتى تتناول " المحتوى المعرفى " " Cognitive content " أن المحتوى المعرفى هو ذلك المحتوى الذى يتقرر بواسطة القضية ، وهو الذى يخضع فى حكمه إما للصدق أو للكذب . وغالبا ما تواجهنا هنا صعوبة شديدة عندما نقرر ما الذى ينتمى إلى المحتوى المعرفى فى القضية ، وما الذى ينتمى إلى مركبات المعنى اللامعرفى التى تظهر فى القضية ولكنها تكون غير مناسبة للمعنى المعرفى فى القضية .

والمثال التوضيحى لهذا النوع من الالتباس هو حالة شاهد المحكمة الذى يقول " لسوء الحظ ، صدمت سيارة النقل السيد سميث ، وكسرت فخذه الأيسر . " ويتقدم الشاهد الآخر للتدليل على أن الشاهد السابق لم يكن يبدو عليه امارات كلمة " لسوء الحظ " على الاطلاق بل كان بالفعل مسرورا غاية السرور عند رؤيته السيد سميث جريحا ، فهل كذب الشاهد عندما استخدم كلمة " لسوء الحظ " أم أنه لم يكذب ؟ إذا ثبت أن الشاهد لم يأسف لهذا الحادث ، لكان من الواضح أن استخدامه كلمة " لسوء الحظ " لم تكن إلا على سبيل الخداع . وطبقا لوجهة النظر هذه ينبغى

أن ننعته بالكذب ولكن من وجهة نظر المحكمة فان الافتراض بأن العبارة قد ألقيت بعد حلف اليمين يجعل من مسألة الحلف الكاذب أمرا لايمكن البت فيه . إذ قد يفكر القاضى بأن استخدام كلمة " لسوء الحظ " لا علاقة له بالمضمون الحقيقى للعبارة . صدمت سيارة النقل السيد سميث وكسرت فخذه . عندما تكلم الشاهد عن هذا على اعتبار أنه سوء حظ لكى يعطى الانطباع بأنه أسف لهذا الحادث ، وهو فى الحقيقة لم يأسف ، فان هذا لا علاقة له بتقرير جملته الرئيسية .

أما إذا قال الشاهد ، " صدمت السيد سميث سيارة نقل ، ولقد أسفت غاية الأسف أن هذا قد حدث له . " لكانت عبارته التى تقرر الاسف أكثر وضوحا ، ولربما كانت مسألة الحلف الكاذب هنا محلا للاعتبار . وعلى أية حال ، يتضح من ذلك أنه ليس من السهل ، فى الغالب الأعم ، أن نقرر ما ينتمى إلى مضمون معرفى لتقرير ما وما هو مجرد عامل لمعنى لا معرفى أو لا ادراكى . أن للغة الانجليزية قواعد ، ولكن ليس لديها بالطبع أحكام بها تعين ما ينبغى وما لاينبغى أن يؤخذ فى الاعتبار ويكون موافقا لقيمة صدق جملة . فإذا قال شخص ما " لسوء الحظ " وهو لايشعر حقيقة بالاسف ، فهل تكون عبارته هذه كاذبة ؟ ليس ثمة شئ فى قواعد اللغة الانجليزية أو معاجمها يساعدنا على الاجابة عن هذا السوءال ولايملك اللغويون إزاء ذلك سوى بيان كيف يتعامل الناس عادة فى ثقافة معينة ، مع مثل هذه العبارات المعينة ، ولايمكنهم أن يقيموا الاحكام التى تقرر المسألة فى كل حالة مفترضة ومع غياب مثل هذه الاحكام يضحى من غير الممكن إجراء تحليل محكم للمضمون المعرفى ( الادراكى ) لعبارات ملتبسة معينة .

وتواجهنا الصعوبة نفسها عندما نحاول أن نقرر ما إذا كانت الجملة التى صورتها " ( و ) ( ق و > ك و ) " صياغة كاملة لقانون أم أنها تتغافل عن شئ ما أساسى . ومنذ ذلك الحين بدأ فلاسفة العلم يصوغون القوانين بمساعدة الرمز " > " ، ثابت التضمن المادى ، إلا أن أصوات الاعتراض أخذت تتعالى معلنة رفضها لهذه الصياغة فلقد أعلن بعض الفلاسفة أنه لكى تطلق على شئ اسم " قانون طبيعى " فلابد أن يقرر أكثر من مجرد أن حادثا ما يتبع آخر ، وإنما لابد من وجود نوع ما من الارتباط الضرورى بين ق و ك . وقبل أن نخضع هذا الاعتراض للتقييم الشامل علينا أن نوضح أولا وبدقة ما يعنيه هؤلاء الفلاسفة بكلمة " ضرورى " ، وثانيا ما إذا كان هذا المعنى ينتمى إلى المضمون المعرفى لقضية القانون أم لا .

وفيما يختص بالنقطة الأولى ، حاول العديد من الفلاسفة توضيح معنى كلمة " ضرورة " عندما تنطبق على قوانين الطبيعة . وذهب مؤلف المانى يدعى برنارد بافن " Ber- Bavink

nard " إلى أن الضرورة فى القوانين الطبيعية إنما هى ضرورة منطقية . " وعلى الرغم من اصراره على هذه المقولة إلا أن معظم فلاسفة العالم أنكروا هذا . وفى رأيى ، هذا خطأ كامل ، لأن " الضرورة المنطقية " إنما تعنى " الصلاحية المنطقية " . فالقضية تكون صحيحة منطقيا فقط إذا لم تقرر أى شئ عن العالم ، أنها صادقة فقط عن طريق قيمة المعانى التى تنظمها الحدود . أما قوانين الطبيعة فهى عارضة " Contingont " ذلك أنه بالنسبة لأى قانون من السهل أن نصف تتابع العمليات التى قد تخالفه " Violate it " دون وقوع فى تناقض ذاتى .

افترض أن قانونا يقرر أن " الحديد يتمدد بالحرارة " وقانونا آخر يقرر أن " الحديد ينكمش بالحرارة " ليس ثمة عدم اتساق منطقى فى القانون الثانى . لأنه من وجهة النظر المنطقية الخالصة القانون الثانى متسق مثله فى ذلك مثل القانون الأول تماما ولكن القانون الأول مقبول أكثر من الثانى لأنه يصف انتظاما ملحوظا فى الطبيعة . أما قوانين المنطق ، فإن المنطقى يكتشفها وهو جالس إلى مكتبه يضع العلامات على ورقة أو مستغرقا فى التفكير وعيناه مغمضتان تماما . ولايمكن اكتشاف قانون الطبيعة بهذه الطريقة وإنما قوانين الطبيعة تكتشف عن طريق مشاهدة العالم ووصف انتظاماته . ولأن القانون يقرر أن انتظاما يتكرر فى كل زمان ، إذن ينبغى التحقق منه تجريبيا ، ويظل دائما معرضا للخطأ إذا ما كشفت ملاحظات المستقبل خلاف ذلك ، فى حين تظل قوانين المنطق صحيحة فى كل عالم ممكن . فإذا كان ثمة ضرورة فى قوانين الطبيعة ، فهى بالتأكيد ليست ضرورة منطقية .

إذن ما الذى يعنيه الفيلسوف عندما يتحدث عن ضرورة فى قانون طبيعى ؟ ربما قال " أننى أعنى أن ق عندما تحدث ، فلا يمكن إلا تتبعها ك ، وإنما ينبغى أن تحدث أيضا ولايمكن أن يحدث العكس " ، ولكن تعبيرات مثل " ينبغى أن تحدث " و " لايمكن أن يحدث العكس " تتشابه مع كلمة " ضرورى " ومن ثم فاننا نظل فى حاجة إلى توضيح ما يعنيه أنه بالتأكيد لا يرغب فى أن يعترض على القضية الشرطية ، " ( و ) ( ق و ⊃ ك و ) " ، أنه يوافق عليها ، ولكنه يرى فيها صياغة ضعيفة جدا ، ويود أن يعززها بإضافة شئ ما .

ولكى نوضح المسألة علينا أن نفترض وجود عالمين فى الفيزياء ، لكل منهما نفس المعرفة العلمية التى للآخر ، وكلاهما يوافق على نفس نسق القوانين . يضع الأول قائمة بهذه القوانين معبرا عنها جميعا بالصورة الشرطية الكلية ( و ) ( ق و ⊃ ك و ) ويقنع لهذه الصياغة دون رغبة منه فى إضافة أى شئ آخر . أما الثانى فانه يضع قائمة بنفس القوانين معبرا عنها بنفس

الصورة الأولى ولكنه يضيف إليها العبارة " وينعقد هذا بالضرورة " ويمكن أن تأخذ القائمتين الصورة التالية :

الفيزيائى الأول

القانون ١ : ( و ) ( ق و > ك و )

القانون ٢ : ( و ) ( ل و > م و )

الفيزيائى الثانى

القانون ١ : ( و ) ( ق و > ك و ) ، وينعقد هذا بالضرورة .

القانون ٢ : ( و ) ( ل و > م و ) ، وينعقد هذا بالضرورة .

هل هناك أى اختلاف بين هذين النسقين من القوانين ، من ناحية المضمون المعرفى ، أو المعنى الادراكى ؟ لكى نجيب عن هذا من الضرورى أن نجوى محاولة لاكتشاف ما إذا كان يمكن تأسيس اختبار يظهرنا على أن احدهما يتفوق على الآخر . وإن نتساءل بالمثل عما إذا كان ثمة اختلاف بين النسقين من حيث قوة احدهما على التنبؤ بالحوادث الملاحظة أكثر من الأخر .

افترض وجود عالمين فى الفيزياء يتفق كل منهما على الحالة الراهنة للطقس وانهما حررا نفس التقارير من نفس محطتى الطقس . وعلى أساس هذه المعلومة وبالاستعانة بنسق القوانين يتنبأ كل منهما بحالة الطقس غدا فى لوس انجيلوس . ولانهما استخدما نفس الوقائع ونفس القوانين فسوف تكون تنبؤاتهما بالطبع متشابهة . فهل يمكن للفيزيائى الثانى استنادا إلى نفس الواقعة أن يضيف بعد كل قانون عبارة " وينعقد هذا بالضرورة " . وتكون تنبؤاته فى هذه الحالة أكثر أو أفضل من الفيزيائى الأول ؟ بالطبع لا ، لأن اضافاته لم تقل شيئا مّا عن أى وصف خاضع للملاحظة لأى حادث متنبأ به .

يقرر الفيزيائى الأول : " إذا كانت ق ، إذن تكون ك ، واليوم هو ق ، ولذلك غدا سوف تكون ك " ويقرر الفيزيائى الثانى : " إذا كانت ق ، إذن تكون ك ، وهذا ينعقد بالضرورة واليوم هو ق ، ولذلك غدا سوف يكون ك ، أقول عاصفة رعدية . ولكن لن تكون ثمة عاصفة رعدية " . ويأتى الغد ، فإذا كان ثمة عاصفة رعدية ، فإن كليهما يسعد بنجاح تنبؤاته ، وإذا لم يكن ثمة عاصفة رعدية ، فإن كليهما سوف يقول : " ولنبحث عن مصدر خطئنا . ربما لم تكن التقارير كافية أو أنها خاطئة . وربما كان أحد قوانيننا خاطئا . " ولكن هل ثمة قاعدة ما اعتمد عليها

الفيزيائى الثانى ولم يعتمد عليها أيضا الفيزيائى الأول ؟ بالقطع لا . صحيح أن الاضافات التى وضعها الفيزيائى الثانى فى قائمة قوانينه كانت كلية ومتكاملة ولكنها لم تؤثر أدنى تأثير على قدرته فى عمل تنبؤات أدق . إنه يعتقد بأن قوانينه بهذا الشكل تكون أقوى وأنها تقرر أكثر مما تقرره قوانين منافسة . ولكنها أقوى فقط فى قدرتها على اثارة شعور انفعالى بالضرورة فى عقل الفيزيائى الثانى . وهى بالتأكيد ليست أقوى فى معناها الادراكى لأن المعنى الادراكى للقانون مشروط بامكانياته على التنبؤ . ولاتعد قوانين الفيزيائى الثانى عاجزة عن التنبؤ أكثر ، عند أي اختبار فعلى وحسب ، وإنما هى أيضا عاجزة عن التنبؤ أكثر ، من حيث المبدأ . هب أننا نأخذ بشروط طقس افتراضية ـ وهى شروط قوية لا تحدث أبدا على الأرض وإنما يمكن تخيلها ـ فإن كلا من الفيزيائيين سوف يجرى على أساس وقائع مماثلة وقوائم القوانين الخاصة بكل منهما ، تنبؤات مماثلة . ولهذا السبب فإن التجريبى المحدث يتخذ موقفا مفاده ، إن الفيزيائى الثانى لم يضف شيئا ذا بال إلى قوانينه .

هذا هو مضمون الموقف الذى اتخذه ديفيد هيوم فى القرن الثامن عشر . ففى نقده الشهير للسببية ، أكد على أنه ليس ثمة أساس لافتراض أن " الضرورة " فى حد ذاتها متضمنة فى أى تتابع ملاحظ للسبب والنتيجة . أنك تلاحظ الحادث أ ، ثم تلاحظ الحادث ب ، ما لاحظته ليس أكثر من تعاقب زمنى للحادثين ، الواحد بعد الآخر ، وليس ثمة " ضرورة " قد تم ملاحظتها . وبما أنك لم تلاحظها فى النتيجة ـ قال هيوم ـ فلايمكنك اثباتها . فهى لم تضف لوصف ملاحظاتـــك أى شئ . وعلى الرغم من أن تحليل هيوم للسببية لم يكن واضحا تمام الوضوح أو صحيحا فى كل تفصيلاته ، إلا أنه كان ، فى رأيى ، صحيحا ، إلى حد كبير ، وأكثر من ذلك فقد ظل جديرا بأن يحتل بؤرة اهتمام الفلاسفة اللاحقين له ، وإلى عصرنا هذا .

فمنذ عصر هيوم ، وقد اكتسبت نظرته الشرطانية " Conditionalist view " دعما قويا أكثر فأكثر ، بفضل التحليلات شديدة الأهمية للسببية التى اضطلع بها كل من ماخ ، وبوانكاريه ، ورسل ، وشليك ، وغيرهم . فلم تعد القضية التى تقرر علاقة سببية سوى قضية شرطية ، تصف انتظاما ملحوظا للطبيعة ، ولاشئ أكثر من ذلك .

والآن ، دعنا نتوجه إلى مظهر آخر من مظاهر السببية ، ذلك المظهر الذى يتعلق بنقطة هامة ألا وهى ، أن العلاقة السببية تختلف عن علاقات أخرى . ففى معظم الحالات ، لكى نحدد ما إذا كانت العلاقة ع تنعقد بين الحادث أو الموضوع أ ، والحادث أو الموضوع ب ، علينا ببساطة

أن ندرس أ و ب بعناية لنرى ما إذا كانت العلاقة ع تنعقد بينهما أم لا . افترض على سبيل المثال أننا أثرنا هذه الأسئلة : هل المبنى أ أطول من المبنى ب ؟ علينا أن نتفقد المبنيين ونتوصل إلى نتيجة . هل ورق الحائط جـ أكثر زرقة من ورق الحائط د ؟ ليس من الضرورى هنا أن نفحص الأمثلة الأخرى لورق الحائط لكى نجيب عن هذا السؤال وإنما يكفى أن ندرس حـ ، د تحت ضوء عادي ونتوصل إلى قرار على أساس مفهومنا لما تعنيه " أكثر زرقة " . هل هـ أخو و ؟ وربما لانعرف ما إذا كانا أخوين وفى هذه الحالة علينا أن ندرس تاريخ أنسابهم ، نعود إلى الماضى ، ونحاول أن نحدد ما إذا كانا ينتسبان إلى نفس الأبوين . والنقطة الهامة هى أننا لسنا فى حاجة إلى دراسة حالات أخرى ، وإنما علينا فقط أن نفحص الحالة قيد البحث لنحدد ما إذا كان ثمة علاقة معينة تنعقد . يكون من السهل أحيانا أن نحدد ، وفى أحيان أخرى يكون ذلك شديد الصعوبة ، ولكن ليس من الضرورى أن نفحص حالات أخرى لنقرر ما إذا كانت علاقة ما تنعقد للحالة المشار إليها .

أما فيما يتعلق بالعلاقة السببية ، فإن الأمر ليس على هذا النحو . فلكى نحدد ما إذا كانت علاقة سببية معينة تنعقد بين أ ، ب ، فلا يكفى مجرد تعريف علاقة ثم دراسة حادثين لايكفى ذلك نظريا . وإنما فى الممارسة الفعلية ، ولأن لدينا معرفة كثيرة جدا عن الحوادث الأخرى ، ليس من الضرورى دائما أن نفحص الحوادث الأخرى قبل قولنا أن علاقة سببية تنعقد بين أ و ب . إذ ربما تكون القوانين الموافقة من الوضوح والالفة إلى الدرجة التى تكون فيها مفترضة ضمنا . ولاينبغى أن يغيب عن بالنا ، أننا قبلنا هذه القوانين لأننا أجرينا ملاحظات سابقة عديدة عن الحالات التى انعقدت فيها العلاقة السببية .

افترض أننى أرى قطعة من الحجارة تتحرك تجاه نافذة ، وقد اصطدمت بلوح الزجاج ، وتناثر الزجاج متحولا إلى ألف قطعة من الشظايا . هل كان اصطدام الحجارة هو السبب فى تحطيم لوح الزجاج ؟ أقول : " أجل " ، فإذا سألتنى : وكيف عرفت ذلك ؟ أجيبك : لقد كان واضحا أننى رأيت الحجارة تصطدم بالنافذة . وماذا أيضا قد يكون سببا فى تحطيم الزجاج ؟ لاحظ هذه العبارة جيدا " ماذا أيضا " ، أى أن السؤال ينشأ لمعرفة ارتباط الحوادث الأخرى التى تتعلق بهذا الحادث ، فى الطبيعة . ولاشك أننا قد لاحظنا ، منذ الطفولة المبكرة ، مئات الحالات التى تناثر فيها الزجاج بفعل اصطدام حجارة من هذا النوع . لذلك فأننا قد اعتدنا على هذه النتيجة . فإذا رأينا حجارة تتحرك تجاه نافذة ، فاننا نتوقع تحطم الزجاج حتى قبل أن تصطدم الحجارة بلوح الزجاج ، ومن ثم فاننا نسلم جدلا أن اصطدام الحجارة يسبب تناثر الزجاج .

ولكن فكر فى كيف يسهل أن تخدعنا المظاهر . افترض أنك تشاهد فى التلفاز فيلما غريبا وأنك ترى الوغد يصوب غدراته نحو رجل آخر ، ثم يضغط على الزناد ، فتسمع صوت عيار نارى يسقط على اثره الرجل الأخر صريعا . لماذا سقط ؟ لأن الرصاصة اخترقته . ولكن لم يكن ثمة رصاصة . وحتى صوت العيار النارى ربما يكون قد تم تسجيله بعد الانتهاء من تصوير الفيلم ، ومن ثم تكون النتيجة التى اعتقدت أنك لاحظتها محض وهم وخداع ، لأنها لم تكن كذلك على الاطلاق .

وفى حالة الحجارة والنافذة ، ربما تكون الحجارة قد اصطدمت بسطح من البلاستيك المتين ، ومن ثم لن يتحطم السطح . بل وأكثر من ذلك ، ربما تكون فى اللحظة التى تلقى فيها بالحجارة على هذا السطح يكون هنالك شخص آخر ، يتوارى بجانب المنزل ، ولكى يخدعك ، فانه يحطم النافذة بوسائل أخرى إذن من الممكن أن نخدع ، أن نعتقد أن ثمة علاقة سببية تنتعقد ، وهى فى الحقيقة لم تنعقد . ومع ذلك افترض أننا استبعدنا مثل هذه الخدع بوصفها مستحيلة الوقوع وأن خبرتنا بالحوادث المماثلة فى الماضى تجعل هذه الحالة شبيهة بحالة زجاج آخر سبق أن تحطم بنفس الوسيلة أو بغيرها من الوسائل . أو إذا كان ثمة شك فى وجود خدعة علينا أن نفحص الأمر بعناية أكثر .

ولكن النقطة الأساسية التى أريد أن أشدد عليها هنا هى : أننا سواء لاحظنا الحالة بعناية أكثر ثم استنتجنا أن الحجارة هى فى الحقيقة ، التى سببت تحطم الزجاج ، أو أننا وقعنا فريسة للشك فى وجود خدعة ما وقمنا بفحص الحالة بتفصيلات أكثر ، فاننا دائما ما نقوم بفحص أكثر من حالـــة واحدة . لأننا نستحضر ما كانت له علاقة بمئات عديدة من حالات أخرى ، ذات طبيعة مماثلة ، كنا قد خبرناها فى الماضى . ولايمكن أبدا أن نقرر علاقة سببية على أساس ملاحظة حالة واحدة بمفردها . وإنما نحن كالاطفال نرى الأشياء تحدث فى تعاقبات زمنية ، ثم نكون بالتدريج وعلى مر السنين ، انطباعات لانتظامات معينة تحدث فى خبرتنا . مثل كأس شرب يسقط ويتحطم ، أو اصطدام كرة ( بيسبول ) بنافذة سيارة ، وتهشم النافذة . وبالإضافة إلى ذلك هناك مئات من الخبرات المماثلة التى تتشابه مع مادة الزجاج ، وأعنى بها المواد سهلة الكسر ، مثل الطبق الصينى الذى يتحطم عن طريق خبطة . وبدون هذه الخبرات لايمكن أبدا أن نقرر أى علاقة سببية بين ملاحظة الحجارة وزجاج النافذة .

افترض أننا تمكنا فى المستقبل ، من صنع زجاج لجميع النوافذ ، بحيث لا يتحطم هذا الزجاج

إلا عندما يتردد صوت عالٍ جدا ، فإذا ما اضفنا هذه المعلومة إلى حصيلة خبرتنا ، ورأينا زجاج النافذة يتحطم عند اصطدام الحجارة به ، فاننا نصيح على الفور : " يا للمصادفة العجيبة ! فى نفس اللحظة التى اصطدمت فيها الحجارة بالزجاج ، أصدر شخص ما ، يقف بجوار المبنى ، صوتا عالى التردد مما نجم عنه تحطم الزجاج . " ومن ثم يتضح أن المظهر النوعى للعلاقة السببية لايمكن تحديده إلا بالرجوع إلى علاقات أخرى ، ولذلك فهو لايمكن أن يؤسس عن طريق فحص حالة عيانية واحدة فقط ، وإنما يتم ذلك عن طريق قانون عام ، هو الذى أسس بالتالى ، على العديد من الملاحظات التى تجرى على الطبيعة .

فعندما يقرر شخص ما أن أ سببت ب ، إنما هو فى الحقيقة يقرر أن هذه حالة جزئية من قانون عام ، ويعد كليا من جهتى المكان والزمان . فقد لوحظ انعقاد زوج من الحوادث فى أزمنة وأمكنة أخرى ، ولذلك يفترض أن ينعقد أ فى أى زمان ومكان . وإليك القضية التى تعبر عن ذلك تعبيرا قويا ، والتى تمثل قفزة جزئية من سلسلة حالات جزئية إلى قضية شرطية عامة فى كل حالة من حالات وإذا حدثت ق و إذن فإن ك و تحدث . أى إذا لوحظ أ ن ق أ قد حدثت ، إذن ، وبمساعدة القانون ، فإن ك أ تستتبعها منطقيا . ولايمكن لقانون أ ن يتقرر دون أن تكون قد سبقته ملاحظات عديدة . لأن هذه الملاحظات هى التى تجعل العلاقة السببية متميزة عن غيرها من علاقات . إذ أن العلاقة التى تقرر " أن الموضوع ل داخل الصندوق م " ، يكفى فيها أن نفحص حالة الصندوق الجزئى الواحد م لكى نحدد ما إذا كان الموضوع ل داخله أم لا . أما إذا أردنا أن نحدد علاقة سبب ـ نتيجة ، وتنعقد فى حالة جزئية واحدة فلايكفى أن نفحص تلك الحالة الجزئية الواحدة ، بل ينبغى أن يكون لدينا أولا قانون مناسب ، ويتطلب هذا بدوره اجراء عدة ملاحظات لحالات مماثلة لتلك الحالة الجزئية .

وأنه لشئ مثمر للغاية ، فيما أرى ، أن نعيد المناقشة كلية فى معنى السببية ، وذلك عن طريق بحث الانواع المختلفة للقوانين التى تصاغ فى العلم . فعندما تدرس هذه القوانين فانها فى الحقيقة تكون دراسة لأنواع الارتباطات السببية ـ التى يتم ملاحظاتها ـ ولاشك أن تناول مشكلة التحليل المنطقى للقوانين . سيكون أوضح وأكثر احكاما من تناول مشكلة ما تعنيه السببية .

ولكى نفهم السببية من وجهة النظر الحديثة هذه ، يجدر بنا أن نعود إلى الأصل التاريخى للتصور ـ والحقيقة[١٨] أننى لم أجر دراسات خاصة بى فى هذا الموضوع ، ولكننى اطلعت باهتمام زائد ، على ما كتبه هانز كيلزن (٢) " Hans Kelsen " فى هذا الخصوص . وهو يعيش الآن

فى الولايات المتحدة ، ولكنه ، فى وقت من الاوقات ، كان استاذا للقانون الدستورى والدولى فى جامعة فيينا . وعندما اندلعت الثورة فى عام ١٩١٨ ، وتأسست الجمهورية النمساوية فى العام التالى ، كان واحدا من ابرز الذين شاركوا فى صياغة الدستور الجمهورى الجديد . وفى معرض تحليله للمشكلات الفلسفية المرتبطة بالقانون ، أصبح فيما يبدو ، مهتما بالأصول التاريخية لمفهوم السببية .

يقال فى الغالب أن هناك ميلا للموجودات البشرية إلى أن تحدد شعورها الخاص تجاه الطبيعة ، لافتراض أن الظواهر الطبيعية ـ مثل المطر والرياح والضوء ـ حية ، وأنها تمضى فى افعالها طبقا لأغراض محددة ، مثل الكائنات البشرية . فهل هذا هو أصل الاعتقاد بأن هناك قوى ، وأسبابا فى الطبيعة ؟ الواقع أن كيلنز آصبح مقتنعا أن هذا التحليل لأصل التصور هو المعقول . على الرغم من أنه ، فيما يبدو ، شديد الخصوصية . وفى دراسته لبداية ظهور التصور عند اليونان القديم ، وجد أن الأمر الاجتماعى لم يكن فرديا ، وإنما كان بمثابة قدوة أو مثال ، ولذلك يأتى من حقيقة أنه منذ البداية وحتى يومنا هذا فإن انتظامات الطبيعة تسمى ( قوانين الطبيعة ) كما لو انها تتشابه مع القوانين بمعناها السياسى .

ولقد شرح كيلز ذلك بهذه الطريقة : عندما بدأ اليونانيون ملاحظاتهم المنهجية للطبيعة ، ولاحظوا انتظامات مختلفة للسبب ، شعروا أن هناك ضرورة معينة تكمن وراء الظواهر ، ولقد نظروا إليها بوصفها ضرورة اخلاقية تتماثل مع الضرورة الاخلاقية فى العلاقات بين الاشخاص فمثلما يتطلب فعل الشر ، العقاب ، وفعل الخير ، الثواب ، كذلك يتطلب حدث معين فى الطبيعة أ النتيجة ب ، للاحتفاظ بحالة الانسجام بين الأشياء للحفاظ على العدالة . فإذا كان الطقس يميل إلى البرودة شيئا فشيئا فى الخريف ثم يصل إلى الدرجة القصوى من البرودة ، فى الشتاء ، ويقال عندئذ أن الطقس خرج عن توازنه ، إذن لابد أن يعود الطقس الآن ، ويميل شيئا فشيئا إلى الحرارة ، وذلك لكى يحتفظ بالتوازن ، واستقامة الأشياء . ولسوء الحظ فانه إذا اختل التوازن فى الطبيعة بدرجة كبيرة ، كان عليه أن يعود مرة أخرى ـ وفى الاتجاه العكسى ـ إلى حالة توازنه .لأن الانسجام فى الطبيعة يتماثل مع الانسجام فى المجتمع . وهذا المفهوم عن انتظام الطبيعة ، أو الانسجام المنعكس ، جعل اليونانيين يعشقون الانتظام أو الانسجام الاجتماعى ، أى جعلهم يعشقون الاعتدال أو التوسط فى جميع الأشياء ، كما جعلهم يمقتون التطرف فى كل شئ .

وبنفس الطريقة نظر إلى مبدأ السببية ـ السبب والنتيجة ـ على أنهما متساويان ، وهو المبدأ

الذى صيغ فى قوانين فيزيائية عديدة ، مثل قانون نيوتن الذى يقول فيه " أن الفعل يصحبه رد فعل مساو " . وشدد عليه عديد من الفلاسفة . ويعتقد كيلزن أن اصل ذلك إنما يرجع إلى اعتقاد اجتماعى بأن العقوبة يجب أن تتساوى مع الجريمة . فالجريمة الأكثر شناعة تحتاج إلى عقوبة أكثر قسوة وأكثر الافعال استحسانا تحتاج إلى أكبر الجوائز قيمة . مثل هذا الشعور الذى أخذ تطوره فى البنية الاجتماعية ، قد طبق على الطبيعة وأصبح مبدأ أساسيا للفلسفة الطبيعية " يتساوى السبب مع النتيجة " " Cause aequat effectum " عبر عنه فلاسفة العصور الوسطى ، كما أنه لايزال يلعب دورا هاما وسط الفلاسفة الميتافيزيقيين .

وتحضرنى الآن مناقشة كانت قد جرت بينى وبين الرجل ، قرر فيها أنه ينبغى أن نرفض نظرية التطور الدارونية تماما . وذلك لانه ليس ثمة وسيلة على الاطلاق ، يمكن عن طريقها أن تتطور الاعضاء من تركيب عضوى أولى إلى تركيبات عضوية أعقد فأعقد . لأنه من المفترض أن يخرق هذا التطور مبدأ تساوى السبب والنتيجة . ومن ثم فان التوسط الالهى وحده هو الذى يمكنه أن يسبب مثل هذا التحول . ولعلك تلاحظ أن اعتقاد الرجل فى مبدأ تساوى السبب مع النتيجة ، كان قويا إلى الدرجة التى جعلته يعلن رفضه لنظرية علمية ، لا لشئ ، إلا لأنها خالفت ذلك المبدأ . وهو فى الحقيقة لم يهاجم نظرية التطور من منطلق تقييمه للدليل الذى أتت به ، وإنما رفضتها ببساطة ، استنادا إلى أسس ميتافيزيقية ، فلا يمكن للتركيب العضوى أن يأتى من تركيب لا عضوى ، لأن الأسباب ينبغى أن تتساوى مع النتائج ، ومن ثم علينا أن نتوصل إلى كائن أعلى لتفسير التحسن الارتقائى اما كيلزن ، فانه يدعم وجهة نظره ببعض اقتباسات هامة لفلاسفة يونانيين . فيتحدث هيراقليطس مثلا عن حركة الشمس عبر السماء وهى مذعنة " لتدابير " خاصة ، ويعنى بها الفيلسوف الحدود المفروضة عليها والتى تحدد مسارها . وكتب يقول " لايمكن للشمس أبدا أن تتعدى حدودها المرسومة وإذا حدث أن فعلت ذلك ، لاكتشفت آرينيس " Erinyes " وصيفات دايك " Dike " سرها . وآرينيس ، ثلاث جنيات مخصصات للانتقام أما دايك فهو اله العدالة الانسانية . ومن ثم فان انتظام مسار الشمس يكون مفسرا فى حدود الامتثال إلى قانون اخلاقى صادر بأمر عال من الالهة ، وإذا خالفت الشمس الأوامر وخرجت عن الخط المرسوم لها ، فسوف تنال جزاءها .

ومن ناحية أخرى ، كان هناك بعض الفلاسفة اليونانيين الذين عارضوا بشدة وجهة النظر هذه . فقد نظر ديموقريطس على سبيل المثال إلى انتظامات الطبيعة على اعتبار أنها غير شخصية " Impersonal " على الاطلاق ، ولاترتبط بأى حال من الأحوال بالأوامر الالهية وإنما

اعتقد أن هذه القوانين تسير طبقا لضرورة جوهرية ميتافيزيقية ، ومع ذلك كانت هذه الخطوة ، خطوة كبيرة إلى الأمام ، ذلك لأنها تحولت من الضرورة الشخصية للأوامر الالهية إلى ضرورة لا شخصية ، موضوعية . أما العلم اليوم ، فقد تخلص من مفهوم الضرورة الميتافيزيقية أى من القانون الطبيعى . ولكن فى عصر ديموقريطس ، كانت وجهة نظره تقدم هائل على وجهة نظر هيراقليطس .

ولقد أشار فيليب فرانك " Philipp frank " فى كتاب له " عن السببية " بعنوان " Das Kausalgesetg und seine grengen " ( نشر فى فيينا عام ١٩٣٢ ، ولم يترجم إلى اللغة الانجليزية ) ، أشار إلى أنه من المفيد تثقيفيا وتعليميا أن نقرأ مقدمات المراجع العلمية . وفى متن كتاب من هذا النوع ، ينبغى على المؤلف أن يتحرى الدقة العلمية ، ويحرص على تجنب الوقوع فى براثن الميتافيزيقا . ولأن المقدمات ، غالبا ما تكون شخصية إلى حد بعيد ـ وكان المولف لايزال متعلقا بأهداب الماضى السحيق ـ فلابد أنه يشعر بأن مقدمته هى المكان المناسب لاخبار القراء عما يجول فى خاطره بشأن حقيقة العلم . وهنا ربما تكتشف نوع الأفكار الفلسفية التى لاتزال تسيطر على فكر المؤلف وهو يؤلف هذا الكتاب . يقتبس فرانك من مقدمة مرجع معاصر فى الفيزياء هذه العبارة " أن الطبيعة لاتخالف القوانين على الاطلاق " وإلى هنا تبدو العبارة وكأنها مغلفة بحسن النية ، ولكن عندما نحللها بعناية نكتشف أنها ملاحظة شديدة الغرابة . ووجه غرابتها ليس فى كونها دعوة إلى السببية ، وإنما فى الطريقة التى تعبر بها عن تلك الدعوة . إن فرانك لم يشر من بعيد أو قريب إلى أن للقانون استثناءات أو مفاجآت ، وإنما هو انكر هذا بوضوح ولكنه صاغ افكاره بتقريره " أن الطبيعة لا تخالف القوانين على الاطلاق " وكلماته هذه تتضمن أن للطبيعة نوعا من الاختيار ، وأن ثمة قوانين معينة مفترضة فى الطبيعة ، وأن الطبيعة من حين لآخر يمكنها أن تخالف واحدة منها ، ولكن لأنها مثل المواطن الفاضل الذى يحترم قوانين بلاده ، لن يفعل ذلك أبدا ، وإذا سولت لها نفسها أن تفعل ، لظهرت آرينيس على مسرح الأحداث واعادتها إلى الطريق القويم . وكما ترى لاتزال هنا فكرة القوانين بوصفها أوامر تطاع ، حية لم تمت . وهو بالطبع سوف يعدها اهانة لاتغتفر أن تنسب إليه وجهة نظر ميتافيزيقية قديمة تقرر بأن ثمة قوانين مفترضة فى الطبيعة ، وأنه يمكن للطبيعة أن تطيعها أو تعصى امرها ، ولذلك نراه يختار كلماته بعناية ، بيد أن وجهة النظر القديمة لاتزال حية فى رأسه .

هب أنك تستخدم طريقة لتكون عونا لك اثناء سيرك فى شوارع مدينة تزورها لأول مرة ، ثم

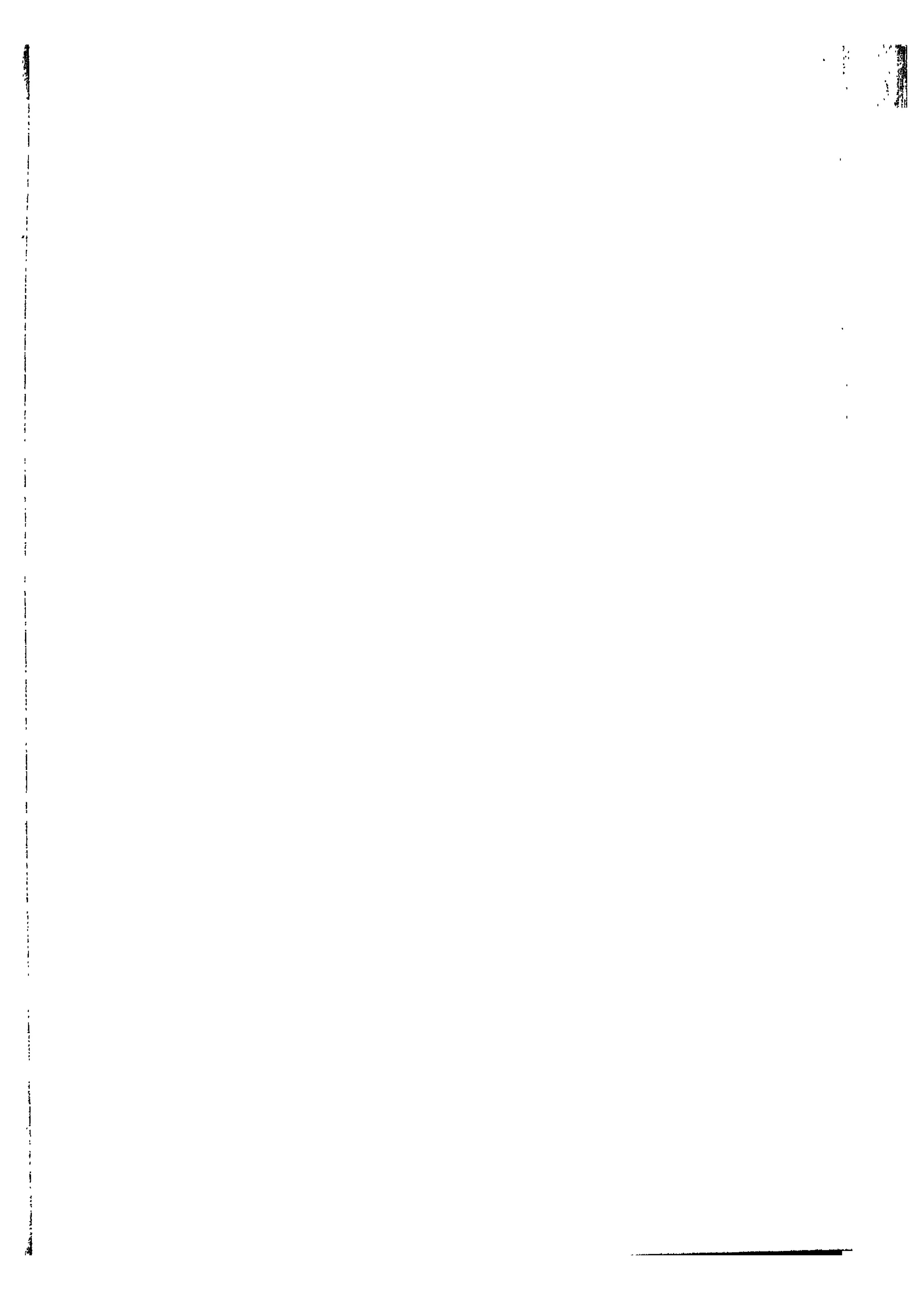
اكتشفت فجأة أن هناك عدم تماثل واضح بين الخريطة وشوارع المدينة . فلاينبغى عليك أن تقول عندئذ : " لابد للشوارع أن تطيع قانون الخريطة " وإنما تقول بدلا من ذلك " لابد أن الخريطة خاطئة . " وهذا بالضبط هو موقف العالم تجاه ما يسمى بقوانين الطبيعة . فالقوانين ماهى إلا خريطة للطبيعة قام برسمها العلماء . فإذا اكتشف عدم تماثل بينهما ، فلاينظر للمسألة على أن الطبيعة قد ارتكبت معصية ، ولكن على أن العلماء هم الذين قد ارتكبوا خطأ .

وربما يصبح الأمر أقل اضطرابا ، إذا استغنينا كلية عن استخدام كلمة " قانون " فى الفيزياء . ولكننا نستمر فى استخدامها لافتقارنا إلى كلمة مقبولة بصفة عامة ، يمكن أن تشير إلى ذلك النوع من القضية الكلية التى يستخدمها العالم بوصفها قاعدة للتنبؤ والتفسير وعلى أية حال فقد اتضح تماما للعقل أنه عندما يستخدم العالم كله قانونا ، فهو بذلك إنما يشير ببساطة إلى وصف لانتظام ملاحظ . فإذا لم يكن هذا الوصف دقيقا ، فإن اللوم يقع حينئذ على العالم لا على الطبيعة .

**هوامش :**

(١) يذكر كارناب هنا قائمة الصدق الخاصة بعلاقة التضمن التى ذكرها رسل فى كتاب " المبادئ " وهى تلك العلاقة التى تكذب فى حالة واحدة فقط ، وهى إذا كانت ق صادقة و " ك " كاذبة ، أما باقى الحالات وهى ق صادقة ، و ك صادقة أو ق كاذبة ، ك صادقة أو ق كاذبة و ك كاذبة فهى تصدق جميعا . ( المترجم ) .

(٢) محام هولندى ، وفيلسوف فى القانون ، يعيش الآن فى الولايات المتحدة ، وقد نشر كتابا بعنوان المجتمع والطبيعة " Society and Nature " ، وهو تحقيق اجتماعى .



□ الفصل الواحد والعشرون □

# منطق الجهات السببية

قبل الخوض فى طبيعة القوانين العلمية ، أود اجلاء بعض الملاحظات التى سبق أن أشرت إليها بشكل موجز عن هيوم . وأننى لاعتقد أن هيوم كان على صواب فى قوله أنه لا ضرورة بالذات فى العلاقة السببية . وأكثر من ذلك ، فاننى لا أنكر امكانية تقديم تصور للضرورة ، مؤكدا على أنه ليس تصورا ميتافيزيقيا ، وإنما هو تصور من خلال منطق الجهات " The Logic of Modalities " . فالمنطق الجهوى " Modal Logic " هو ذلك المنطق الذى يزوده بقيم للصدق عن طريق تقديم مقولات كالضرورة ، والمكانية ، والاستحالة . ومن الأهمية بمكان أن نميز بين الجهات المنطقية ( الضرورى منطقيا ، والممكن منطقيا ، وهكذا ) ، والجهات السببية ( الضرورى سببيا ، والممكن سببيا ، وهكذا ) تماما كأنواع أخرى عديدة من الجهات . غير أن الجهات المنطقية وحدها هى التى نالت الحظ الوافر من الدراسة . ومن أفضل الأعمال المعروفة فى هذا المضمار ، نسق التضمن الدقيق الذى طوره لويس " C. I. Lewis " . وأنا نفسى نشرت ذات مرة ورقة فى هذا الموضوع . ولكن إذا كنا بصدد العلاقة السببية ، ينبغى علينا أن نركز ليس على الجهة المنطقية ، وإنما على الجهة السببية .

وفى رأيى ، منطق الجهات السببية ممكن . وإلى الآن أعمال قليلة للغاية ، أنجزت فى هذا المضمار . والمحاولة الأولى لتأسيس نسق من هذا النوع ، كان على أيدى أرثر بيركس " Arther W. Burks " ، الذى اقترح نسقا من البديهيات ، ولكنه كان ضعيفا إلى حد كبير . حيث أنه لم يوضح بالفعل ، تحت أى شروط يمكن أن نلاحظ القضية الكلية ، باعتبارها ضرورية سببيا . ولقد تناول آخرون بشكل أساسى نفس المشكلة ، ولكن باصطلاح مختلف . فعل ذلك ، على سبيل المثال ، هانز ريشنباخ ، فى كتابه الصغير " القضايا النومولوجية * والعمليات المسلم بها " Nomol ogical Statements and Admissible Operations " ، ولقد عالجت العديد من الموضوعات مشكلة " الشرطيات المعاكسة للواقع " " Counterfactual conditionals " ، وهى مشكلة وثيقة الارتباط بمشكلتنا .

والقضية الشرطية المعاكسة للواقع ، هى تلك القضية التى تقرر أنه إذا لم يكن هذا الحادث قد حدث ، إذن لكان حادثا آخر هو الذى أتبعه . ومن الواضح أنه لايمكن أن ينقل معنى هذا التقرير فى لغة رمزية ، وذلك عن طريق استخدام الصدق الشرطى الدالى ( الرمز " < " ) بالمعنى الذى كان يستخدم به عادة . ومع ذلك فقد بذلت محاولة لتحليل المعنى الدقيق للقضايا الشرطية المعاكسة للواقع . وما نشأ عنها من مختلف المشكلات الصعبة ، وكان رودريك م . شيشولم " Rodrick M. Chishom " (١٩٤٠) ونيلسون جودمان " Nelson Goodman " (١٩٤٧) من بين أول الذين كتبوا حول هذا الموضوع . ومنذ ذلك الحين تبعهما العديد من المولفين بكتابات أخرى .

وعلى وجه الدقة ، ماهى العلاقة بين مشكلة الشرطيات المعاكسة للواقع ، ومشكلة صياغة منطق الجهات ، ذلك المنطق الذى سوف يدخل ضمن تصور الضرور السببية ؟ أنه العلاقة تنشأ من حقيقة أنه لابد من التمييز بين نوعين من القضايا الكلية . فمن ناحية ، هناك ما يمكن أن نطلق عليه اسم القوانين الاساسية ، كما هو الحال فى القوانين الفيزيائية التى تصف اطرادات كلية فى المكان والزمان . ومن ناحية أخرى هناك القضايا الكلية التى لاتعد قوانين أساسية . ولقد اقترح لهما مصطلحات متعددة ، وفى بعض الأحيان يطلق عليهما اسم الكليات الاتفاقية " Accidental Universals " ومثالها هو : " كل النقود التى كانت فى جيبى فى الأول من شهر يناير ١٩٥٨ ، فضية " ويمكن أن نفهم الاختلاف الأساسى بين نوعى القضايا الكلية ، على نحو أفضل ، إذا ما وضعنا فى اعتبارنا أن القضايا المعاكسة للواقع ذات علاقة بهما .

ولنأخذ أولا قانونا أساسيا ، ألا وهو قانون الجاذبية . إنه يسمح لى أن أقرر أنه إذا ما ألقيت بحجر ، فانه سوف يسقط على الأرض بسرعة معينة . واستطيع صياغة قضية مشابهة فى صورة معاكسة للواقع بقولى : " أننى امسكت بالامس بحجر فى يدى . ولكننى إذا لم أكن قد أمسكت بها ، أى إذا كنت قد سحبت يدى ، إذن لكانت قد سقطت على الأرض . " لم تصف هذه القضية ما حدث بالفعل وإنما ما قد يمكن له أن يحدث ، إذا لم أكن قد امسكت بالحجر . ويعتمد هذا التقرير بالاساس على قانون الجاذبية . وربما لا يستند إلى القانون بشكل صريح ، وإنما هو مفترض بشكل ضمنى . وعن طريق ذكر القانون ، أزود عقلى بالاعتقاد فى القضية المعاكسة للواقع . وبشكل أكثر وضوحا ، أننى لم أعتقد به لأننى رأيته يحدث ، فهو لم يحدث ، ولكن تعقلى للقضية المعاكسة للواقع يستند إلى قانون أساسى فى الفيزياء ويعد هذا القانون تبريرا كافيا للقضية المعاكسة للواقع .

وهل ينسحب نفس الشئ على النموذج الثانى من القضية الكلية ، أعنى الكلية الاتفاقية ؟ يتضح فى الحال أن ذلك محال . افترض أننى أقول : " إذا كانت العملة التى تراها الآن ، فى جيبى فى الأول من يناير عام ١٩٥٨ ، إذن لكانت قد صنعت من فضة " . وواضح هنا أن المادة التى صنعت منها العملة لا علاقة لها بما إذا كانت أو لم تكن فى جيبى فى تاريخ محدد . إذن القضية الكلية التى تقرر أن " كل العملات التى كانت فى جيبى فى الأول من يناير عام ١٩٥٨ ، كانت فضية لاتصلح لأن تكون أساسا لتقرير قضية معاكسة للواقع . ومن ثم يتضح أن هناك بعض القضايا الكلية التى تصلح لأن تكون قاعدة معقولة للقضية المعاكسة للواقع ، بينما لاتصلح أخرى لذلك . وربما نكون على قناعة أن القضية الكلية الاتفاقية صادقة ، لكن لا ينبغى أن ننظر إليها بوصفها قانونا . ومن الضرورى أن نحتفظ بهذا التمييز فى ذهننا عند تحليل معنى القضايا المعاكسة للواقع ، لأنه يتضمن أيضا مشكلة الجهات اللامنطقية ، أى الجهات السببية .

إن الفكرة الموجهة فى أطروحتى للمشكلة هى على النحو التالى . افترض أن شخصا ما يقترح قضية بوصفها قانونا جديدا فى الفيزياء . ولانعرف ما إذا كانت هذه القضية صادقة أو كاذبة ، لأن الملاحظات التى أجريت عليها لم تكن مرضية إلى حد كاف ، ولكنها قضية كلية ، لأنها تقرر أنه ، إذا وقع حادث معين فى أى زمان أو مكان ، فان حادثا آخر سوف يتبعه . وبالنظر إلى صورة القضية ، يتقرر ـ فى حالة صدقها ـ ما إذا كان ممكنا أن يطلق عليها اسم القانون الاساسى . بيد أن مسألة صدق القانون من عدمه تعد غير ذات أهمية ، ذلك لأن ما يعنينا فقط هو ما إذا كان القانون له صورة القانون الاساسى أم لا . فإذا اقترح شخص على على سبيل المثال ، قانونا فى الجاذبية ، ينص على أن قوة الجاذبية تقل عن ثلث قوة المسافة ، فمن الواضح أن هذا القانون إنما هو قانون خاطئ ، لأنه لا ينعقد فى هذا العالم . ولكن من السهولة أن ندرك عالما ينعقد فيه ذلك القانون . ولذلك بدلا من تصنيف القضايا إلى نومولوجية أو قوانين أساسية ( التى يفترض أن تكون صادقة ) وأخرى غير نومولوجية ، فاننى أفضل أن أقسم القضايا وبغض النظر عن قيم صدقها ـ إلى هاتين الفئتين :ـ

(١) قضايا لها صورة شبه قانونية " Lawlike form " ( وتسمى أحيانا " صورة اسمية " ) .

(٢) قضايا ليست لها تلك الصورة . وتشتمل كل فئة على قضايا صادقة وأخرى كاذبة .

والقضية التى تقرر أن " الجاذبية تزيد على ثلث قوة المسافة " تعد من النوع الأول . فهى

شبه قانون ، حتى على الرغم من أنها لا تعد صادقة ، ومن ثم فهى ليست قانونا . أما القضية التى تقرر أنه " فى الأول من يناير عام ١٩٥٨ ، كان كل الرجال الذين يقطنون لوس أنجيلوس ، يرتدون أربطة عنق أرجوانية اللون . " فهى تعد من النوع الثانى . لأنها حتى لو كانت صادقة فانها مع ذلك تظل لا تعبر عن قانون وإنما فقط عن حالة اتفاقية حدثت فى زمن خصوصى .

وفى اعتقادى أن التمييز بين هذين النوعين من القضايا ، يمكن تحديده بدقة . بيد أن هذا لم يتم بعد . ولكن حتى إذا تم ، فان شعورا ينتابنى ، بأننى لن أتمكن من وضعه بقوة أكثر ، وذلك لأنه يمكن أن يكون تمييزا سيمانطيقيا خالصا* " a purely semantic " وما أعنيه هو أنه إذا قدم لى شخص ما القضية الكلية س ، وكنت قد أجريت لنفسى تمييزا واضحا بشكل كاف بين النوعين ، فاننى لن أجرى أى اختبارات لكى أقرر ما هو نوع القضية ، وإنما سوف أسأل نفسى فقط : ما إذا كانت القضية س صادقة ، وما إذا كنت أنظر إليها بوصفها قانونا ؟ ولكى نضع المسألة بأحكام أكثـر أتساءل : هل يتسنى لى أن انظر إليها بوصفها قانونا أساسيا . وأخيرا سوف أشرح باعثى على اجراء مثل هذا التمييز . غير أننى أود الآن أن أوضح ما أعنيه بقولى " الحصول على صورة قانون أساسى ممكن " أو ، بدقة أكثر " الحصول على صورة اسمية " .

ولقد أوضح جيمس كلارك ماكسويل " James Clerk Maxwell " الشرط الأول الذى تتطلبه القضية ذات الصورة الأسمية ، وهو الذى سبق أن طور النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية منذ قرن مضى . فلقد أشار إلى أن القوانين الأساسية للفيزياء لا تتحدث عن أى موقع خصوصى فى المكان أو أى نقطة خصوصية فى الزمان ، وإنما هما عموميان تماما ، لأن القوانين تنعقد فـى أى مكان ، وفى أى زمان . وهذا فقط هو الطابع المميز للقوانين الأساسية . ولا شك أن ثمة قوانين تقنية " Technical " وعملية " Practical " هامة ومتعددة ، ولكنها لا تنتمى إلى هذا النوع من القوانين ، وإنما تقف فى موقع متوسط بين القوانين الأساسية ، والقوانين الاتفاقية ، ولكنها ليست اتفاقية تماما . فعلى سبيل المثال القضية " كل الدببة التى تعيش فى القطب الشمالى ، بيضاء " ليست قانونا أساسيا ، لأنه يمكن للوقائع أن تكون على خلاف ذلك تماما . ومن ناحية أخرى ، لايمكن أن تكون اتفاقية تماما ، فهى بالتأكيد ليست اتفاقية ، مثلها فى ذلك مثل واقعة كل النقود التى كانت فى جيبى ، فى تاريخ معين ، كانت فضية . لأن القضية التى تتعلق بالدببة القطبية إنما تعتمد على ضرب من القوانين الأساسية التى تحدد المناخ القريب من القطب الشمالى ، وخضوع الدببة للتطور ، وعوامل أخرى كثيرة . ومن ثم فان لون الدببة هنا لم يكن اتفاقيا . ومن ناحية أخرى ، قد يتغير المناخ فى غضون المليون سنة

القادمة ، وتنتشر أو تعيش بالقرب من القطب ، أنواع أخرى من الدببة بلون فرو مختلف . ومن ثم لايمكن أن نطلق على هذه القضية اسم قانون أساسى .

وقد يظن أحيانا أن ثمة قانونا أساسيا ولكن يثبت أخيرا أنه محدود بزمان ومكان ، أو شروط خاصة . فلقد تكلم اقتصاديو القرن التاسع عشر عن قوانين العرض والطلب بوصفها قوانين اقتصادية عامة . وانبرى الماركسيون يكيلون انتقاداتهم ، مشيرين إلى أن ذلك يصدق فقط على نمط معين من اقتصاد السوق ، ولا ترقى أبدا هذه القوانين إلى مستوى القوانين الطبيعية ، كما أننا نجد فى العديد من المجالات ـ البيولوجية ، والسوسيولوجية ، والانثروبولوجية ، والاقتصادية ـ قوانين تبدو من الوهلة الأولى أنها عمومية . ولكن ذلك ينشأ فقط بسبب أن المؤلف لاينظر أبعد من حدود وطنه أو قارته أو حقبته التاريخية . فقد نظن مثلا أن القوانين إنما تعبر عن سلوك أخلاق كلى ، أو عن أشكال كلية من العبادة الدينية ، ولكنها تضحى قوانين محدودة عندما نكتشف أن ثمة ثقافات أخرى تسلك سلوكا مختلفا . ونعتقد اليوم فى امكانية وجود حياة على كواكب أخرى ، فإذا صح هذا الاعتقاد ، لما انطبقت كثير من القوانين البيولوجية ـ والتى تبدو لنا كلية بالنسبة إلى الكائنات الحية والأرضية ـ على الحياة فى مكان آخر من المجموعة الكوكبية . ويتضح من ذلك أن ثمة قوانين عديدة لا اتفاقية ، ولكنها تنطبق فقط على اقطار معينة محدودة بالزمان ، كما أنها ليست كلية . ومن الضرورى أن نميز بين هذه القوانين والقوانين الكلية والاعتقاد السائد الآن هو أن القوانين الفيزيائية صادقة فى كل زمان ومكان ، فقد اقتنع ماكسويل ، عندما كان يصوغ معادلاته الجبرية عن الكهرومغناطيسية ، أنها ليست صالحة فى معمله وحسب ، وإنما هى صالحة أيضا فى أى معمل آخر ، كما أنها ليست صالحة على الأرض وحسب ، وإنما فى الفضاء أيضا ، أى على القمر وكوكب المريخ ، وأن القوانين التى كان يصوغها إنما هى قوانين كلية عن العالم والكون . وعلى الرغم من أن قوانينه قد عدلتها ميكانيكا الكم إلى حد ما ، إلا أنها قد عدلت فقط . ولاعتبارات هامة لايزال ينظر إليها بوصفها قوانين كلية ، كما أنه عندما يذكر فيزيائى حديث قانونا أساسيا ، فهو يقصد بذلك أنه قانون كلى . وينبغى أن نميز مثل هذه القوانين الأساسية عن القوانين المحدودة زمانيا ، وأيضا عن القوانين المشتقة التى لاتنعقد إلا على أنواع معينة من النظم الفيزيائية والمواد المعينة وهكذا .

ومن ثم نجد أن مشكلة التعريف المحكم ، لما اطلقنا عليه اسم الصورة الاسمية التى هى صورة القانون الاساسى الممكن لم تستقر بعد . وبالتأكيد ينبغى أن يدخل شرط ماكسويل ، الذى

يقرر أن القانون إنما هو ما ينطبق على كل الأزمنة والأمكنة ، فى هذا التعريف . بيد أنه يمكن أن تكون هناك شروط أخرى ، ولقد اقترح بالفعل العديد منها ، إلا أن فلاسفة العلم لم يتفقوا بعد ، وبشكل تام ، على أى من هذه الشروط الاضافية التى ينبغى الاخذ بها . ولنضع جانبا هذه المشكلة غير المحلولة ، ونفترض أن ثمة تعريفا دقيقا للصورة الاسمية . وسوف أذكر من وجهة نظرى ، كيف يمكن لهذه الصورة أن تمدنا بقاعدة لتعريف بعض المفاهيم الأخرى الهامة .

أولا ، أننى أعَرِّف القانون الاساسى المتعلق بالطبيعة بأنه قضية ذات صورة اسمية ، وصادقة أيضا . وربما يشعر القارئ بعدم ارتياح لهذا التعريف . ولقد اعترض بعض من اصدقائى على ذلك بقولهم أن التجريبى لايمكنه أبدا أن يتحدث عن وجود قانون صادق ، لأن القانون يشير إلى عدد لانهائى من الحالات التى تجرى فى كل زمان ومكان ، ولا يمكن لكائن بشرى أن يعرف على نحو يقينى ما إذا كان هذا القانون يجرى على نحو كلى أم لا ، وأننى أوافق تماما على هذا القول ، ولكن ينبغى أن نجرى تمييزا واضحا بين اليقين والصدق ولايمكن أن يكون هناك بالطبع أى يقين ، وإنما يوجد فى الحقيقة يقين أقل ، عندما يتعلق الأمر بقانون أساسى يعالج واقعة جزئية . فلابد أن أكون متيقنا من أن هذا القلم المعين قد سقط من يدى على الدرج ، أكثر من يقينى بكلية قوانين الجاذبية . ومع ذلك ، فإن هذا لايمنع المرء مـن الحديث . ويكـون لحديثه معنى كامل ـ عن وجود قانون صادق أو غير صادق وليس ثمة سبب يمنعنا من استخدام مفهوم الصدق فى تعريف قانون اساسى .

بيد أن أصدقائى واصلوا النقاش وقالوا انهم يفضلون استخدام عبارة " درجة عالية من الثبات " بدلا من كلمة " صدق " . وكان ريشنباخ قد ذكر فى كتابه " القضايا النومولوجية والعمليات المسلم بها " أن هذه العبارة تأتى بنفس النتيجة على الرغم من اختلاف المصطلح إذ أن كلمة " صادق " تعنى " المؤسس جيدا " " Well Established " أو أن " أساس الدليل المتاح فى الزمن الماضى أو الحاضر أو المستقبل ، ثابت بدرجة عالية " إلا أننى أشك فى أن هذا هو مايعنيه العلماء عندما يتحدثون عن قانون اساسى للطبيعة ، وإنما هم يعنون به ، شيئا ما فى الطبيعة يحدث بقطع النظر عما إذا كان هناك كائن بشرى يدركه أم لا . وأننى لمقتنع أن هذا هو الذى قصده معظم كتـاب الماضى ، تماما كما يقصده علماء اليوم عندما يتحدثون عن قانون الطبيعة . وتنحصر مشكلة تعريف " القانون الاساسى " فى أن القانون يقف عاجزا أمام درجة الثبات التى يتوصل اليها ، لأن هذه الدرجة بالطبع ، لاتزودنا باليقين الكامل والكافى فالمشكلة إذن متعلقة بالمعنى الذى يقصده العلماء عندما يستخدمون هذا المفهوم فى محاضراتهم .

وكثير من الذين يأخذون بالمذهب التجريبى " Empiricists " ينتابهم شعور بعدم الارتياح

عندما يطرحون هذه المسألة لانهم يشعرون بأن من واجب التجريبى ألا يستخدم على الاطلاق مثل هذه الكلمة الخطيرة المرعبة ، " صادق " بل أن أوتو نيوراث " Otto Neurath " يذهب إلى أنه من الخطيئة الكبرى التى نرتكبها فى حق المذهب التجريبى ، أن نتحدث عن القوانين بوصفها قوانين صادقة . ويتبنى البرجماتيون الأمريكيون بما فيهم وليام جيمس ، وجون ديوى ، وجهات نظر شبيهة بذلك . يرجع الاخفاق ، فى رأيى ، فى تفسير هذا الحكم ، إلى عدم التمييز الواضح بين هذين المفهومين المختلفين : (١) الدرجة التى نؤسس عليها القانون فى زمن معين ، و(٢) المفهوم السيمانطيقى لصدق القانون . ومرة أخرى أقول ، لقد تحقق هذا التمييز ، وفطن إلى أنه يمكن التزود بتعريف محكم للصدق عن طريق السيمانطيقا ، وأنه ليس ثمة سبب يدعونا إلى التردد فى استخدام كلمة " الصدق " فى تعريف " قانون أساسى للطبيعة " .

ولقد اقترحت التعريف التالى : تكون القضية صادقة سببيا أو صادقة ـ س ، إذا كانت نتيجة منطقية لفئة كل القوانين الأساسية . وسبق أن عَرّفت القوانين الأساسية بوصفها قضايا ذات صورة اسمية ، وصادقة . تلك القضايا الصادقة ـ س والتى لها صورة كلية ، إنما هى قوانين بالمعنى الأوسع للكلمة ، فهى إما أن تكون قوانين أساسية أو قوانين مشتقة . وأما القوانين المشتقة فهى تلك القوانين التى تكون محدودة بمكان وزمان ، مثل قوانين علم الارصاد الجوية .

افترض هاتين القضيتين . " خلا شهر مارس ١٩٥٠ " ثبتت درجة الحرارة ، فى مدينة بروكفيلد ، على نقطة تحت الصفر ، وذلك منذ منتصف الليل وحتى الخامسة صباحا . وفى الخامسة صباحا كانت بحيرة المدينة مغطاة بالجليد " هذا قانون مشتق . قارن هذه القضية بالقضية الثانية التى تجرى على منوال الأولى فيما عدا نهايتها : " ... وبعدئذ ، أقيمت مباراة فى كرة القدم بالاستاد ، وكان ذلك بعد الظهر " هذه القضية أيضا صادقة ، لأن كل يوم سبت كانت تقام مباراة فى كرة القدم ، وأن شرط درجة الحرارة المعينة ، كان يتحقق مرتين فقط فى مارس ١٩٥٠ ، وكلاهما يحدث فى صباح يوم السبت . ومن ثم ، فإن القضية الثانية ، برغم كونها صادقة ، ولها نفس الصورة المنطقية التى للأولى ، إلا أنها ليست قانونا ، وإنما هى مجرد قضية كلية اتفاقية ويوضح هذا المثال ، أنه على الرغم من افتراض صدق القضايا التى تأخذ صورة كلية ، إلا أن التمييز بين نوعى القوانين المشتقة فى هذه الحالة والكليات الاتفاقية لايمكن أن يتم على أساس واحد فى التحليل السيمانطيقى للقضايا ، وإنما يمكن أن يتم ، فى رأيى ، بطريق غير مباشر ، وذلك بمساعدة مفهـوم القانون الأساسى . لأن القانون المشتق إنما هو

نتيجة منطقية لفئة القوانين الأساسية ، أما القضية الاتفاقية فهى ليست كذلك . ومع ذلك ، فإن التمييز بين صور القوانين الأساسية ، والكليات الاتفاقية ، يمكن أن يتم فى اعتقادى عن طريق التحليل السيمانطيقى الخالص ، ودون الرجوع إلى معرفة واقعية .

ولقد دافعت فى كتابى المعنى والضرورة " Meaning and Mecessity " عن وجهة النظر التى ترى أن أفضل تفسير للجهات المنطقية هو أنها خواص قضايا شبيهة لخواص سيمانطيقية معينة للعبارات التى تعبر عن تلك القضايا . افترض أن العبارة س ١ ، فى اللغة ل ، تعبر عن القضية ق١ ، إذن تكون ق١ قضية ضرورية منطقيا ، إذا ، وفقط إذا كانت س١ صادقة ـ م فى اللغة ل ( وأنا استخدم الحد " صادقة ـ م " بدلا من " صادقة منطقيا " ) . ولذلك فإن العبارتين التاليتين تكونان متكافئتين :

(١) س١ تكون صادقة ـ م ( فى ل ) .
(٢) ق١ تكون ضرورية منطقيا .

وبكلمات أخرى ، لكى نقول أن قضية ما ضرورية منطقيا ، هو نفس القول بأن أى عبارة تعبر عن القضية تكون صادقة ـ م . ويمكن أن تختص مفاهيم ـ م السيمانطيقية ( صدق ـ م ، كذب ـ م ، تضمن ـ م ، تكافؤ ـ م ) للغات التى تكون قوية بشكل كاف للتعبير عن كل القضايا الرياضية والفيزيائية ، ومن ثم نتوصل إلى حل مشكلة تفسير الضرورة المنطقية . وفى رأيى أن أفضل معالجة للجهات الأخرى ، وبصفة خاصة ، الجهات السببية ، هى تلك التى تتخذ لنفسها مسلكا شبيها بهذا المسلك .

وكمثال لما أعنيه ، افترض أن الاختلاف بين القضيتين (١) و(٢) السابقتين هو فى أن س١ هى اسم الجملة ولذلك فان (١) تكون قضية فيما وراء اللغة " Metalanguage " (١) من جهة أخرى تكون (٢) قضية اللغة موضوع " Object Language " (٢) برغم أنها ليست لغة موضوع ماصدقى " Extensional " (٣) . وإنما لغة موضوع ذات روابط خالية من دوال الصدق . وتكتب الجملة (٢) فى صورتها الرمزية ، على هذا النحو :

(٣) ض (ق١)
وهذا يعنى أن " ق١ قضية ضرورية منطقيا " .

وأعرِّف بنفس الطريقة " الصورة الأسمية " أولا ، ثم " القانون الأساسى " وأخيرا صادق ـ س ( أى صادق سببيا ) ، وهى جميعا مفاهيم سيمانطيقية ، ومن ثم ، إذا أردنا أن نحصل على القضية :

(٤) س١ تكون صادقة ـ س ،

لأمكننا القول أن القضية المعبر عنها بـ س١ ، ضرورية بالمعنـى السببى ، وتكتب على هذا النحو :

(٥) ق١ ضرورية سببيا .

أو فى صورتها الرمزية :

(٦) ض س (ق١)

وأثناء تعريفى للحدود ، تكون فئة القضايا الضرورية سببيا ، مفهومة ، لأنها تحتوى القضايا الضرورية منطقيا . وهذه الوسيلة ، فى رأيى ، أفضل من وسائل أخرى لتعريف نفس الحدود ، وأقول أفضل فقط ، لأن موضوع الجهات السببية لم يطرح على بساط البحث على نطاق واسع ، لأنه موضوع متشعب ومعقد . واسمحوا لى أن أتوقف عند هذا الحد ، حتى لا اضطر إلى استخدام مصطلحات فنية أكثر من ذلك .

**هوامش :**

(*) القضايا النومولوجية هى القضايا التى تختص بفن صياغة القوانين أو هى علم نواميس العقل ( المترجم ) .

(**) السيمانطيقا هى علم دلالات الالفاظ وتطورها ، وهى جزء من الدراسة الفلسفية العامة للغة التى يطلق عليها اسم السميوطيقا " Semiotic " ، والسميوطيقا هى الاساس العلمى لتوحيد العلوم ، وتضم الفروع الأساسية المتعلقة بالعلامات والاشياء والاشخاص ، وهذه الفروع هى التركيب اللغوى أو السنتاكس " Syntax " ، والمعنى والدلالة أو السيمانطيقا ، ثم أخيرا علاقة اللغة بالشخص المتكلم ، أو البرجماطيقا " Pragmatic " ويرى كارناب أن هناك نوعين من السيمانطيقا الأولى وصفية وهى عبارة عن دراسة تجريبية للعلامات ومعانيها الواقعية المستخدمة بالفعل ، والثانية خالصة أى لايمكن اعتبارها دراسة تجريبية ، وإنما هى دراسة معيارية تضع قواعد العلامات وتحدد معانيها الصحيحة وهذا النوع الأخير هو الذى يقصده كارناب هنا . ( المترجم ) .

(١) ما وراء اللغة هى اللغة التى تدور حول اللغة أو هى لغة فوقية تعتنى بالالفاظ فى حد ذاتها دون الاهتمام بموضوع ( المترجم ) .

(٢) لغة الموضوع هى اللغة التى تشير إلى الموضوع الذى تتحدث عنه هذه اللغة ، من حيث أن القضية تشير إلى موضوع خارجى . ( المترجم ) .

(٣) كل اسم أو حد منطقى إما أن يشير إلى موضوع أو موضوعات معينة ، وإما أن يشير إلى صفة أو صفات يحتويها ذلك الموضوع . والموضوعات التى يشير اليها الاسم أو الحد تسمى بالماصدق " Extension " ، أما الصفات أو الكيفيات، فتسمى بالمفهوم " Intension " . ( المترجم ) .

## الفصل الثانى والعشرون

# الحتمية وحرية الإرادة

---

إننى أفضل استخدام مصطلحى " السببية " و " البنية السببية للعالم " بمعنى واسع جدا : لأن القوانين السببية ما هى إلا تلك القوانين التى تمكننا من التنبؤ بالحوادث وتفسيرها . كما أن مجمل هذه القوانين جميعا ، تصف لنا البنية السببية للعالم .

ونحن لا نتحدث بالطبع فى حديثنا اليومى عن تسبيب أ لـ ب ، إلا إذا كانت ب تالية فى الزمن لـ أ ، وإلا إذا كان ثمة خط مباشر من أ إلى ب . فإذا شاهدنا آثار أقدام على الرمال ، لاستدللنا على أن شخصا ما قد سار على الرمال ، ولايمكن أن يقال إن آثار الاقدام سببت سير الشخص على الرمال ، حتى على الرغم من أن السير يمكن أن يستدل عليه من آثار الاقدام ويكون ذلك على أساس من قوانين سببية . وبالمثل عندما تكون أ و ب نتيجتين نهائيتين لسلسلة سببية طويلة وترتدان إلى سبب عام ، لا يقال أن أ سببت ب ، فإذا كان الوقت نهارا ، لأمكننا أن نتنبأ بحلول الليل ، لأن النهار والليل سبب عام ، ومن ثم لا يقال أن الواحد منهما سبب للآخر . وبالمثل إذا اطلعنا على جدول مواعيد القطارات ، لأمكننا أن نتنبأ بوصول القطار فى وقت معين ، ولايعتقد أن تدوين المواعيد فى الجدول سبب وصول القطار ، لأن الحادثين يرتدان هنا أيضا إلى سبب عام . وهو القرار الذى اتخذته ادارة هيئة السكك الحديدية والذى بدأ بسلسلتين متفرقتين من الحوادث المرتبطة معا سببيا والذى بلغت ذروته فى أ و ب . فإذا قرأنا جدول المواعيد فاننا نجرى استدلالا سببيا ، وليس ثمة ما يدعونا إلى الامتناع عن استخدام الحد " قانون سببى " بشكل واسع ، ليعنى انطباقه على كل القوانين التى تساعدنا على التنبؤ بحوادث معينة وتفسيرها طبقا لحوادث أخرى ، بغض النظر عما إذا كانت الاستدلالات تأتى سابقة أو لاحقة فى الزمن .

وفى سياق وجهة النظر هذه ، ماذا يمكن أن يقال عن المصطلح " حتمية " ؟ إن الحتمية فى رأيى ما هى إلا مبحث خاص يدور حول البنية السببية للعالم . فهى أطروحة تؤكد على أن هذه

البنية السببية ، من القوة بحيث يمكنها أن تعطى وصفا كاملا عن الحالة الكلية للعالم ، فى لحظة معينة من الزمن ، وعندئذ وبمساعدة القوانين ، يمكن حساب أى حادث سواء أكان فى الماضى أو المستقبل . تلك هى وجهة النظر التى تبناها نيوتن ، وقام لابلاس بتحليلها تفصيلا . ويتضمن هذا بالطبع أننا أثناء وصف الحالة اللحظية للعالم ، لانقوم بوصف موضع كل جزئ فى العالم وحسب ، وإنما نقوم أيضا بوصف سرعته . فإذا كانت البنية السببية قوية إلى هذه الدرجة ، لسمحت لنا هذه الأطروحة أن نقرر ـ وأنا أذكرها كما ذكرها لابلاس ـ أن هذا العالم ليس بنية سببية وحسب ، وإنما هو أيضا ، وبصفة خاصة ، بنية حتمية .

وفى فيزياء العصر الحالى ، وعلى الرغم من أن لميكانيكا الكم بنية سببية ، إلا أن معظم الفيزيائيين وفلاسفة العلم ، يرفضون نعتها بالحتمية ، ذلك لأنها ، كما يقولون ، أضعف من بنية الفيزياء الكلاسيكية لاشتمالها على قوانين أساسية ، هى فى جوهرها احتمالية ، ومن ثم فهم لا يستطيعون إعطاء صياغة تأخذ الشكل " إذا كانت لمقادير معينة ، قيما معينة ، إذن لكانت لمقادير أخرى معينة ، قيما أخرى محددة تحديدا مطلقا " ذلك لأن القانون الأحصائى أو الاحتمالى إنما يقرر أنه إذا كانت لمقادير معينة قيم معينة إذن لكان ثمة توزيع احتمالى لقيم المقادير الأخرى . فإذا كانت بعض القوانين الأساسية للعالم احتمالية هكذا ، فلا يمكن لاطروحة الحتمية أن تقوم لها قائمة . وصحيح أن معظم الفيزيائيين اليوم لايقبلون الحتمية بالمعنى الصارم الذى عرضناه هنا ، إلا أن هناك قلة قليلة لا تزال تعتقد فى أن الفيزياء قد تعود إليها فى يوم ما . بل أن اينشتين نفسه لم يتخل ابدا عن هذا الاعتقاد ، فلقد كان مقتنعا طوال حياته أن الرفض الحالى للحتمية فى الفيزياء ما هو إلا حالة مؤقتة . وإلى يومنا هذا ، لا ندرى ، ما إذا كان اينشتين على صواب أم على خطأ .

وفى تاريخ الفلسفة تعد مشكلة الحتمية وثيقة الصلة بمشكلة حرية الارادة ، وهى تصاغ دائما على هذا النحو : هل يمكن للانسان أن يختار بين أفعال ممكنة مختلفة ، أم أن شعوره بأن لديه حرية فى الاختيار وهما وضلالا ؟ لن نخوض هنا فى مناقشة تفصيلية لهذه المسألة ، لأنها فى رأيى لا تمثل أى تأثير على المفاهيم أو النظريات الأساسية فى العلم ، ولا أشاطر ريشنباخ الرأى فى أنه إذا ظلت الفيزياء على موقفها الكلاسيكى من الحتمية الصارمة ، لما امكننا أن نتحدث حديثا ذا معنى عن حرية الاختيار أو التمييز أو اتخاذ قرار عقلى ، أو أن نكون مسئولين عن أفعالنا .. الخ . وأعتقد أن كل تلك الأشياء يكون لها معنى بشكل كامل ، حتى فى عالم تسوده أقصى درجات الحتمية .(١)

ويمكن تلخيص الموقف الذى أعارضه ـ وهو الموقف الذى اتخذه ريشنباخ وآخرون ـ على النحو التالى : إذا كان لابلاس على صواب فى قوله إن الماضى والمستقبل الكلى للعالم محتم بشكـل كامل ، لما كان " للاختيار " أى معنى ولأضحت الارادة الحرة محض وهم وخداع . ولأننا نؤمن كل الإيمان أن لدينا اختيارا ، وأننا نستطيع أن نعقد عزمنا بالفعل ، فلايمكن أن يكون كل حادث محتما بالحادث الذى قبله ، بل وبالحوادث التى حدثت حتى قبل مولدنا . ولكى نسترجع المعنى الحقيقى " للاختيار " يصبح من الضرورى أن نتطلع إلى لا حتمية الفيزياء الحديثة .

ولهذا السبب بالتحديد ، أعارضهم كل المعارضة ، لأننى اعتقد انهم يخلطون بين معنى التحتيم النظرى ، أى المعنى الذى يتحتم فيه حادث بحادث سابق عليـه طبقـا لقوانـين معينـة ( وهى لاتعنى أكثر من القدرة على التنبؤ على أساس انتظامات ملاحظة ) وبين الجبر أو القسر أو الالزام . وأننى لادعوك أن تنسى للحظة ، فيزياء العصر الحالى ، لأن الحتمية فيها لم تنشأ بالمعنى القوى ، وأن نفكر برؤية القرن التاسع عشر . كانت وجهة النظر المقبولة بشكل عام ، وهى تلك التى ذكرهـا لابلاس . حالة لحظية مفترضة للكون ، وإنسان خارق لديه القدرة على الوصف الكامل لتلك الحالة كما أن لديه كل القوانين ( وبالطبع لا يوجد مثل هذا الانسان ، ولكن وجوده مفترض ) إذن لأمكنه أن يحسب أى حادث سواء أكان فى الماضى أو المستقبل . وحتى إذا كانت وجهة النظر التى تقول بالحتمية الصارمة صحيحة ، لما استتبع ذلك أن تلزم القوانين أى شخص على فعل ما لايريد فعله ، لأن القدرة على التنبؤ بشئ والاجبار أو القسر أو الالزام شئ آخر تماما .

ولتفسير هذا افترض أن مسجونا فى زنزانة أراد أن يهرب ، ولكنه وجد نفسه محاطا بأسوار سميكة ، وباب محكم الاغلاق ، يعد هذا قسرا حقيقيا ، ويمكننا أن نطلق عليه أسم القسر السلبى ، لأنه يمنعه من فعل شئ ما يريد أن يفعله . بيد أن هناك أيضا قسرا ايجابيا . افترض أننى أقوى منك ، وأنك تحمل فى يدك طبنجة ، ولاتنوى استخدامها ، ولكننى إذا امسكت بيدك ، وصوبت الطبنجة إلى شخص ما ، ثم ضغطت أصبعك بقوة حتى جذب زند الطبنجة أكون بذلك قد أرغمتك على اطلاق النار ، أى على أن تفعل شيئا ما ، لم تكن ترغب فى فعله . والقاعدة التى سوف أسلم بها هنا هى ، أننى المسئول عن اطلاق النار ، ولست أنت . وهذا هو القسر الايجابى بالمعنى الفيزيائى الضيق . أما إذا كان هناك شخص ما اضطر آخر بكل أنواع الوسائل غير الفيزيائية كالتهديد مثلا بنتائج وخيمة العواقب ، لكان هذا قسرا بمعنى أوسع .
قارن الآن بين كل هذه الأشكال المختلفة للقسر ، وبين التحتيم بمعنى انتظامات تحدث فى

الطبيعة . من المعلوم أن للكائنات البشرية خواص نوعية معينة تعطى انتظاما لسلوكها وكان لى صديق ، مغرم جدا بمقطوعات باخ " Bach " الموسيقية . التى كان من النادر عزفها ، وعلمت أن مجموعة من الموسيقيين الممتازين يقومون بعزف خاص لباخ ، فى بيت صديق آخر ، وأن بعضا من هذه المقطوعات فى البرنامج . ولقد دعيت وقيل لى أن من حقى احضار شخص ما معى . ودعوت صديقى ولكن قبل أن أفعل هذا ، غلبنى يقين ما بأنه سوف يلبى الدعوة . والآن على أى أساس قمت بهذا التنبؤ ؟ أننى قمت بالطبع لأننى أعرف خواصه النوعية ، وقوانين معينة فى علم النفس . افترض أنه قد أتى معى بالفعل ، كما توقعت . أيكون معنى هذا أنه قد اضطر إلى ذلك ؟ كلا وإنما هو ذهب بكامل ارادته الحرة بل أنه فى الحقيقة ، لم يكن حرا قط ، أكثر مما هو عليه الآن ، عندما اختار هذا النوع من الاختيار .

وقد يسأله شخص ما : هل كنت مضطرا لذهابك إلى هذا الحفل ؟ ألم يمارس عليك أى شخص أى نوع من انواع الضغط الأدبى ، كأن أخبرك مثلا أن المضيف أو الموسيقيين سوف يستاءون إذا تخلفت عن الحضور ؟

ويجيب : " لم يحدث شيئ من هذا القبيل ، لم يمارس على أحد أقل ضغط ، وإنما أنا مغرم جدا بباخ ، وأردت من كل قلبى الذهاب ، وهذا هو السبب الحقيقى فى ذهابى " .

والاختيار الحر لهذا الرجل مطابق بالتأكيد لوجهة نظر لابلاس ، حتى ولو كانت المعلومة الكلية عن الكون ، سابقة لقراره ، فقد جعلتنا نتنبأ أنه سوف يحضر الحفل ، ويظل من غير الممكن فى هذه الحالة أن يقال أنه حضر الحفل تحت أى اضطرار أو قسر . وإنما يكون قسرا فقط إذا اجبرته عوامل خارجية على فعل شئ ما يتعارض مع رغبته . ولكن إذا كان الفعل نابعا من ذاته ، وفقا لقوانين علم النفس ، فاننا نقول عندئذ أنه قد تصرف بحرية . وعلى الرغم من أن شخصيته قد تشكلت نتيجة لتعليمه ، ونتيجة لكل الخبرات التى اكتسبها منذ مولده ، إلا أن هذا لايمنعنا من الحديث عن حرية الاختيار إذا كانت نابعة من شخصيته . وربما يكون هذا الرجل الذى أحب باخ ، راغبا أيضا فى أن يتنزه هذا المساء ، ولكن رغبته فى أن يستمع إلى موسيقى باخ طغت على رغبته فى أن يتنزه ، ومن ثم فهو قد مارس حرية الاختيار ، وهذا هو الجانب السلبى من المسألة الذى دعانا إلى رفض فكرة أن الحتمية الكلاسيكية لم تقل كلاما ذا معنى عن حرية الارادة الانسانية .

أما الجانب الايجابى من المسألة فهو هام بنفس الدرجة . فإذا لم يكن لدينا انتظام سببى

بحيث نكون فى غير حاجة إلى الحتمية بمعناها القوى ، لما كان فى استطاعتنا أن نمارس حرية اختيار على الاطلاق . لأن الاختيار يتضمن تفضيل قصدى لسير اجراء على آخر . فكيف يمكن لاختيار ما أن يتم إذا كان من المستحيل التنبؤ بنتائج سير اجراءات مختلفة ؟ إن أبسط الخيارات إنما تعتمد على التنبؤ بنتائج ممكنة . فالماء يشرب لأنه من المعلوم ، وطبقا لبعض قوانين الفسيولوجيا ، أنه يطفئ الظمأ . ولا يمكن معرفة النتائج بالطبع إلا بدرجات مختلفة فقط من الاحتمال . وحتى إذا كان الكون محتما بالمعنى الكلاسيكى ، لظل هذا صحيحا أيضا . لأن المعلومة الكافية التى تمكننا من التنبؤ بيقين كامل ، غير متاحة لنا على الاطلاق . ويمكن للانسان المتخيل فى صياغة لابلاس أن يجرى تنبؤات دقيقة بالطبع ، ولكن لايوجد مثل هذا الانسان إذن الموقف العملى الذى ينبغى أن نتبناه هو أن معرفة المستقبل معرفة احتمالية ، بغض النظر عما إذا كانت الحتمية تسرى أو لاتسرى بالمعنى القوى . وأننا إذا أردنا أن نقوم بأى نوع من الاختيار الحر ، ينبغى أن نكون قادرين على أن نزن النتائج المحتملة للمسارات المختلفة للافعال ، ولن يتم ذلك إذا لم يكن ثمة انتظام كاف فى البنية السببية للعالم . وبدون مثل هذه الانتظامات ، لانعدمت المسئولية الاخلاقية أو القانونية ، لأن الشخص الذى لايستطيع أن يتنبأ بنتائج افعاله على نحو مؤكد ، لايمكن أن يكون مسئولا عن هذه الافعال . ولأن الوالدين أو المدرس أو القاضى لا يعتبرون الطفل مسئولا ، إلا فى الحالات التى يتمكن فيها الطفل من التنبؤ بنتائج افعاله . إذن بدون السببية فى العالم لأضحى من العبث تعليم الناس أى سلوك اخلاقى أو سياسى ، لأن مثل هذه النشاطات لا تكتسب معناها إلا إذا افترض مقدار معين من الانتظام السببى فى العالم .

وربما يمكننا أن نلخص وجهات النظر هذه على النحو التالى : للعالم بنية سببية ، وليس من المعروف ما إذا كانت هذه البنية حتمية بالمعنى الكلاسيكى ، أم أنها حتمية بشكل أقل حدة . وفى كل حالة من الحالات هناك درجة من الانتظام ، وهو ضرورى لما نطلق عليه اسم الاختيار . فعندما يختار أى شخص ، إنما يكون اختياره جزءا من السلطة السببية للعالم . فإذا لم يكن هناك قسر بمعنى أن يكون الاختيار قائما على تفضيله الخاص ، أى نابعا من ذاته الخاصة ، إذن لما كان هناك سبب يدعونا إلى ألا نطلق عليه اسم اختيار حر وصحيح إن شخصيته توجب عليه أن يختار ما يفعله ويكون هذا بالتالى مشروطا بأسباب سابقة ، إلا أن هذا لا يدعونا إلى القول أن شخصيته تضطره أن يختار ما يفعله ، لأن الكلمة " يضطر " تعرّف فى حدود من العوامل السببية الخارجية . وقد يكون بالطبع ـ من الناحية النفسية ـ فى حالة عقلية غير طبيعية بشكل حاد ، أو قد يقال أنه اقترف جريمة لأن طبيعته قد أرغمته على أن يفعل ما فعله ، إلا أن الحد

" برغم " هنا قد استعمل ليعنى أن حالته الشاذة هى التى منعته من رؤية النتائج المترتبة على مسارات أفعال مختلفة بشكل واضح ، أى جعلته غير قادر على التروى فى اتخاذ القرار العقلى السليم . وتواجهنا هنا مشكلة خطيرة ، ألا وهى وضع حد فاصل بين سبق العزم " Premedi-tated " والسلوك المريد ، والأفعال القسرية الناتجة عن حالات عقلية شاذة . ومهما كان الأمر ، فإن الارادة الحرة هى القرار الذى يتخذه شخص ما ، قادر على التنبؤ بنتائج مسارات أفعاله المختلفة ، يختار منها ما يفضله . وفى رأيى ليس ثمة تعارض بين حرية الاختيار بهذا المعنى ، وبين الحتمية ، حتى إذا كانت على النمط الكلاسيكى القوى .

وفى السنوات القليلة الماضية ، ارتأى عدد من الكتاب ، أن الوثبات الكماتية اللامحتمة ، والتى يعتقد معظم الفيزيائيين أنها صدقية " random " بشكل أساسى ، يمكن أن تلعب دورا هاما فى اتخاذ القرار (٢) وعلى الرغم من أن هذا صحيح تماما ، إذ أنه تحت شروط ميكروسببية (٣) " Microcause " معينة ، مثل الوثبة الكوانتيه ، نصل إلى ماكرو نتيجة " Macroeffect " ملحوظة . ففى القنبلة الذرية مثلا ، عندما تتحرر أعداد كافية من النيوترونات تحدث التفاعلات نتيجة لسلسلة من ردود الأفعال . ويمكن أن ينطبق هذا أيضا على التركيب العضوى البشرى ، بل وبدرجة أكبر من معظم الانظمة الفيزيائية الجمادية ، كأن تكون هناك مواضع معينة داخل التركيب العضوى ، بحيث يمكن أن تؤدى وثبة كوانتية مفردة إلى ماكرو نتيجة واضحة . على الرغم من هذا كله ، إلا أنه ليس من المحتمل أن يكون لهذه المواضع تأثير على القرارات الانسانية .

تأمل قليلا كائنا بشريا لحظة اتخاذه قرار . فإذا كان النمط اللاحتمى قد ظهر فى هذه اللحظة نتيجة لوثبة كوانتية ، إذن لكان القرار المتخذ هنا صدفيا بشكل متساو . ولاتساعد هذه الصدفية فى تقوية معنى الحد " اختيار حر " . بل لايمكن لمثل هذا الاختيار أن يكون اختيارا على الاطلاق . وإنما هو قرار صدفى أتخذ بشكل اتفاقى وكأنه فعل وقع بين مسارين ممكنين بالتساوى وهو أمر شبيه بقذف العملة (٤) .

ولحسن الحظ فإن مدى اللاحتمية فى نظرية الكم ضئيل إلى حد بعيد ، وإذا كان أكبر من ذلك بكثير لكان من المحتمل أن تنفجر منضدة على حين غرة ، أو يتحرك الحجر تلقائيا عند سقوطه ويصعد افقيا سابحا فى الفضاء . وربما كان فى امكاننا أن نحيا فى هذا العالم ، ولكن من المؤكد أن ذلك لن يزيدنا امكانية فى حرية الاختيار . أما إذا كان الأمر أكثر صعوبة من

ذلك ، لكان اجراء مثل هذه الخيارات أصعب بكثير مما يجعل توقع نتائج الافعال شبه مستحيل ، أى إذا سقط حجر ، وبدلا من سقوطه على الأرض كما هو متوقع ، دار بشكل حلزونى وخبط رأس شخص ما إذن لكان من الممكن لهذا الشخص أن يعتقد أنه المسئول عن ذلك ، لأنه لم يكن منتبها بشكل كاف . ويوضح هذا أنه إذا كان التنبؤ بنتائج الافعال أكثر صعوبة مما هو عليه الآن لكان احتمال حدوث نتائج مرغوبا فيها ، أقل من ذلك بكثير ، ولأصبح السلوك الاخلاقى القصدى أكثر صعوبة بما لايقارن فإذا انطبق نفس الشئ على العمليات الصدفية التى يمكن أن توجد فى الأعضاء البشرية ، لامتد هذا التأثير أيضا على الخيارات ، بحيث يضيف إليها عنصرا صدفيا آخر ، ويصبح الاختيار هنا أقل مما لو حدث العكس . وفى هذه الحالة لن نعدم من يجادلنا بالاستحالة الكاملة لحرية الارادة .

وفى رأيى ، ليس ثمة اختلاف على المستوى العلمى فى الحياة اليومية ، بين الفيزياء الكلاسيكية بحتميتها الصارمة ، وفيزياء الكم الحديثة بتأثيراتها الميكروفيزيائية الصدفية ، لأن اللايقين فى نظرية الكم ، أقل بكثير جدا من اللايقين الناشئ عن محدودية المعرفة فى الحياة اليومية . فالانسان هو الانسان ، سواء اتصف عالمه بالفيزياء الكلاسيكية أو بالفيزياء الحديثة ، لأن كلا الوصفين لايمكن أن يكون له أدنى تأثير على مسألة الاختيار الحر ، والسلوك الاخلاقى ، ولأنه فى كلتا الحالتين يستطيع الانسان أن يتنبأ بنتائج أفعاله ، ليس بيقين كامل ، وإنما بدرجة ما من الاحتمال ـ أما اللاتحديد الذى تتصف به ميكانيكا الكم فليس له أدنى تأثير على ما يحدث مثلا لحجر عندما يقذفه أى انسان لان الحجر يحتوى على بلايين الجسيمات المعقدة جدا ، ومن ثم لايمكن أن يلعب اللاتحديد هنا أى دور ولهذا السبب فاننى اعتبر المفهوم الذى يقيم علاقة بين اللاحتمية على المستوى دون الذرى ، وبين مسألة القرار الحر ، مفهوما مغلوطا ، ومهما كان عدد العلماء وفلاسفة العلم المشايعين له ، إلا أنك يمكنك أن تقبل رأيى هذا على اعتبار أنه رأى شخصى .

### هوامش :

(١) يمكنك الاطلاع على مناقشة تفصيلية لهذه المسألة ، من وجهة النظر التى أؤيدها فى نشرة بعنوان " حرية الارادة " التى ظهرت فى مجلة " المعرفة والمجتمع " الذى قامت بنشره رابطة جامعة كاليفورنيا . نيويورك ١٩٨٣ . وأتفق مؤلفو النشرة مع الناشرين على عدم ذكر أسماء أى منهم إلا أننى ادركت على الفور أن بول مارهينك " Paul Marhenke " هو الذى كان يترأس تحرير هذه المجلة ، لأن النقاط الرئيسية فى النشرة كانت تتفق ووجهة نظر موريتز شليك الذى كان فى زيارة لرئيس التحرير السابق بيركلى ، فأظهرت النشرة مدى تأثيره الواضح .

(٢) ولقد أثار هنرى مارجينو " H. Margenaw " هذه النقطة فى منظاراته المفتوحة : الابعاد الفلسفية المنظورة للعلم

الحديث " Philosophical Peropedwics of Modern Science " ( نيوهافن ) منشورات جامعة ييل ، ١٩٦١ )
وأيضا فيليب فرانك فى كتابه " فلسفة العلم " عام ١٩٥٧ الفصل العاشر الفقرة الرابعة ويذكر مقتبسات لعدد من المؤلفين تتناول الجوانب المتعددة لموضوع المناقشة .

(٣) الميكروسببية هى تلك العمليات التى تجرى فى الموضوعات الميكروفيزيائية أى الموضوعات دون الذرية التى تتكون من جسيمات دقيقة داخل الذرة وتقابلها الموضوعات الماكروفيزيائية التى تنتمى إلى عالمنا الفيزيائى الكبير الذى يمكننا التعامل معه بحواسنا المختلفة ( المترجم ) .

(٤) للعملة وجهان إذا قذف بها كان احتمال ظهور أحد الوجهين مساويا النصف ( المترجم ) .

□ القسم الخامس □

# القوانين النظرية والمفاهيم النظرية

## الفصل الثالث والعشرون

# النظريات وما لا يمكن خضوعه للملاحظة

إن واحدا من أهم التمييزات بين نمطى القوانين فى العلم ، وهو التمييز بين ما يمكن أن يسمى ( ولاتوجد مصطلحات فنية مقبولة بصفة عامة لهما ) ، *القوانين التجريبية والقوانين النظرية* . أما القوانين التجريبية هى تلك القوانين التى يمكن اثباتها بشكل مباشر ، عن طريق الملاحظات التجريبية . وغالبا ما يستخدم المصطلح " يمكن ملاحظته " أو يمكن رصده " " Observable " (١) للاشارة إلى أية ظاهرة يمكن رصدها بشكل مباشر ، ولذلك يمكن أن يقال أن القوانين التجريبية هى تلك القوانين التى تدور حول مرصودات .

وينبغى التنبيه هنا إلى أن لكل من الفلاسفة والعلماء طرقا مختلفة تماما لاستخدام مصطلحى " مايمكن رصده " و " ما لايمكن رصده " فبالنسبة للفيلسوف يكون للمصطلح " ما يمكن رصده " معنى ضيق جدا ، فهو ينطبق على خواص مثل " أزرق " و " صلب " و " حار " ، وهذه الخواص تدرك بشكل مباشر عن طريق الحواس . أما بالنسبة للفيزيائى فإن للمصطلح معنـــى أوسع بكثير ، فهو يشير إلى أى مقدار كمى يمكن قياسه بطريقة مباشرة ، وبسيطة نسبيا . وقد لايهتم الفيلسوف بدرجة حرارة الشئ الملاحظ ، التى ربما كانت ٨٠ درجة مئوية ، أو بوزنه الذى ربما كان ١/٢ ٩٣ رطل لأنه ليس ثمة تصور حسى مباشر لمثل هذه المقادير . أما الفيزيائى فيمكنه ملاحظة هذين المقدارين ، لأنه يستطيع " قياسهما بطريق بسيطة للغاية ، كأن يضع الشئ المراد وزنه على ميزان ، أو قياس درجة حرارة الشئ المراد قياسه بترمومتر . بيد أن الفيزيائى لايمكنه أن يدعى امكانية رصد كتلة جسيم ، هذا إذا ما تجاوزنا عن ذكر كتلة اليكترون ، لان اجراءات القياس هنا تكون شديدة التعقيد وغير مباشرة على الاطلاق . أما المقادير التى يمكن تحديدها بواسطة اجراءات بسيطة نسبيا ـ كالطول مثلا بمسطرة ، أو الزمن بساعة ، أو تردد الموجات الضوئية بمقياس الطيف ـ فهى التى يطلق عليها اسم " مرصودات " .

وقد يعترض الفيلسوف قائلا إن ما تم رصده فى الحقيقة ـ فى الحالة الأخيرة ـ ليس شدة

التيار الاليكتروني ، وإنما فقط مؤشر الموضع ، فعند تلامس اميتر (٢) بدائرة كهربية ، فإن ما يلاحظ هو مؤشر الموضع الذى قد يتجه إلى الرقم ٣ر٥ ، ومن ثم فإن ما تم رصده فى الحقيقة ليس شدة التيار ، وإنما تم الاستدلال عليه فقط مما هو ملاحظ .

وقد يرد الفيزيائى على ذلك ، بأن هذا صحيح إلى حد ما ، ولكن الاستدلال هنا لم يكن استدلالا شديد التعقيد ، وإنما اجراء القياس فيه كان بسيطا للغاية ، بحيث لم يعد يداخلنا أدنى شك فى أن الاميترقد اعطانا مقياسا دقيقا للغاية عن شدة التيار ، ولهذا السبب يمكن ادراجه ضمن مايسمى المرصودات .

وليست المسألة هنا هى من الذى يستخدم المصطلح " ما يمكن رصده " بطريقة صحيحة أو مناسبة ، ولكن المسألة هى أن هناك استمرارية ، تبدأ من ملاحظات حسية مباشرة ، وتتقدم إلى ما هو اعقد منها بشكل كبير ، أى إلى طرق ملاحظة غير مباشرة . ومن الواضح أنه ليس ثمة خط فاصل يمكن رسمه عبر هذه الاستمرارية ، لأن المسألة هنا مسألة درجة فعندما يتأكد فيلسوف ما أن صوت زوجته صادر من غرفة مجاورة ، فإنه يسلم أن هذا الصوت يمكن رصده . ولكن افترض أنه ينصت إليها وهى تتحدث فى الهاتف . فهل يمكن رصد هذا الصوت أم لا ؟ وقد يؤكد لنا فيزيائى أنه عندما ينظر إلى شئ من خلال ميكروسكوب عادى ، فانه يقوم برصده بشكل مباشر . فهل ينطبق نفس الشئ عندما ينظر إليه من خلال ميكروسكوب اليكترونى ؟ وهل يمكنه رصد مسار جسيم فى غرفة مظلمة ؟ على أية حال أن الفيزيائى يتحدث بصفة عامة ، عن المرصودات بمعنى أوسع جدا ، بالمقارنة بنظيره الفيلسوف . ولكن فى الحالتين ، يظل الحد الفاصل بين ما يمكن رصده وما لايمكن رصده عاليا للغاية . ويستحسن أن نحتفظ بهذا التمييز فى عقلنا ، لكى نتمكن من معرفة المقصود بهذين المصطلحين عند مطالعتنا لكتاب ألفه فيلسوف أو عالم .

إذن القوانين التجريبية هى ، فى اصطلاحى ، تلك القوانين التى تشتمل إما على أشياء يمكن رصدها بشكل مباشر عن طريق الحواس ، أو هى تلك التى يمكن قياسها بوسائل تقنية ببساطة نسبيا . ويطلق أحيانا على مثل هذه القوانين اسم ، تعميمات تجريبية ، لأنها تبدأ من ملاحظات وقياسات وتنتهى إلى تعميم النتائج . وهى لاتشتمل فقط على القوانين الكمية البسيطة ( مثل " كل الغربان سوداء " ) وإنما أيضا على قوانين كمية نتجت عن قياسات بسيطة كالقوانين المتعلقة بضغط وحجم ودرجة حرارة الغازات ، وأيضا قانون أوم " Ohm's Law " الخاص

بفروق الجهد الكهربى ، والمقاومة ، وشدة التيار ، فهو مثال مألوف آخر عن ذلك . يجرى العالم ببساطة ، قياسات متكررة ، فإن وجد انتظامات معينة ، عبر عن ذلك فى قانون ، وهذه هى القوانين التجريبية . وكما هو موضح فى فصول سابقة ، تستخدم هذه القوانين لتفسير وقائع ملاحظة ، وللتنبؤ بحوادث يمكن ملاحظتها فى المستقبل .

أما النوع الثانى من القوانين ، وهى تلك التى أطلق عليها اسم القوانين النظرية لايوجد مصطلح مقبول بشكل عام لها ، فهى فى بعض الاحيان تسمى قوانين مجردة أو افتراضية " Obstract or Hypothetical Laws " واعتقد أن الاصطلاح " افتراضى " غير مناسب ، لأنه قد يوحى بأن التمييز بين نمطى القوانين يعتمد على الدرجة التى تم بها اثبات هذه القوانين . بيد أن القانون التجريبى ذاته ، ما هو إلا افتراض غير نهائى تم اثباته فقط بدرجة منخفضة ، ومع ذلك يظل قانونا تجريبيا . إذن لاينبغى التمييز بين قانون نظرى وآخر تجريبى بدعوى أن الأول غير مؤسس جيدا ، ولكن على أساس أنه يشمل حدودا من نوع مختلف ، أى على حدود لاتشير إلى مرصودات ، حتى ولو تبنى الفيزيائى المعنى الواسع الذى يشتمل على ما يمكن رصده . فهى قوانين تتعلق بكيانات معينة كالجزيئات ، والذرات ، والاليكترونات ، والبروتونات ، والمجالات الكهرومغناطيسية ، وأشياء أخرى لايمكن قياسها بوسائل بسيطة ومباشرة .

فإذا كان ثمة مجال سكونى ( استاتيكى ) لأبعاد واسعة ، بحيث لايتغير من نقطة إلى أخرى ، إذن لأطلق عليه الفيزيائى اسم المجال المرصود ، وذلك لامكانية قياسه بأدوات بسيطة ، أما إذا كان المجال يتغير من نقطة إلى أخرى ، فى مسافات صغيرة جدا ، أو بسرعات عالية جدا فى الزمن ، كأن يتغير بلايين المرات كل ثانية ، وبحيث لا يمكن قياسه بشكل مباشر ، وبوسائل تقنية بسيطة ، فلايمكن عندئذ أن يطلق عليه الفيزيائى اسم المرصود . ويميز الفيزيائى احيانا بين المرصود وغير المرصود بهذه الطريقة : إذا ظل المقدار على ما هو عليه فى المسافات أو الفواصل الزمينة الكبيرة بشكل كاف ، بحيث يمكن قياسه بأدوات مباشرة ، إذن لأطلقنا على هذا المقدار اسم " الحادث الاكبر " " Macrovent " أما إذا تغير المقدار فى فواصل مكانية أو زمانية شديدة الصغر ، بحيث لايمكن قياسه بأدوات بسيطة ، لكان ذلك هو " الحادث الأصغر " " Microevent " ( وكان المؤلفون السابقون يستخدمون المصطلحين " مايرى بالعين المجردة " Macroscopic " و " ما لايرى بالعين المجردة " Microscopic " أما اليوم فإن العديد من المؤلفين يختصرون المصطلحات إلى الأكبر " macro " و " الاصغر " " micro " .

إذن العملية الصغرى " microprocess " ، هى تلك العملية التى تشتمل ببساطة على

فواصل شديدة الصغر فى المكان والزمان ، ومن ثم تكون ذبذبة موجة كهرومغناطيسية لضوء يمكن رؤيته مثلا ، عملية صغرى ، لأنه لا وجود لآلة قياس تمكننا من معرفة كيف تتغير شدتها . ويتوازى احيانا التمييز بين المفاهيم الكبرى والصغرى " macro and microconcepts " مع المرصود وغير المرصود . ولايتطابقان تماما ، وإنما يتوازيان على وجه التقريب . إذن تختص القوانين النظرية بالأشياء التى لايمكن رصدها ، وغالبا ما تكون هذه الاشياء عمليات صغرى ، ومن ثم يطلق على هذه القوانين اسم القوانين الصغرى " microlaws " . بيد أننى استخدم المصطلح " قوانين نظرية " بمعنى أوسع من ذلك ، فأضمنها جميع القوانين التى تشتمل على ما لايمكن رصده بغض النظر عما إذا كانت مفاهيم صغرى أو كبرى .

صحيح أن مفهومى " ما يمكن رصده " وما لايمكن رصده ـ كما أوضحنا من قبل ـ لايمكن تعريفهما بدقة ، لأنهما يتوقفان على كمية أو سلسلة متصلة ، إلا أنه فى نطاق الخبرة العملية يتضح التمايز الكبير بينهما . فقد يتفق مثلا الفيزيائيون جميعا على أن القوانين المتعلقة بضغط وحجم ودرجة حرارة غاز معين ، إنما هى قوانين تجريبية ، إلا أن الكمية الكبيرة للغاز ، تجعل المقادير الخاضعة للقياس ثابتة ، كما أن الحجم الذى يشغل حيزا كبيرا من المكان ، والفترة الطويلة التى تنقضى من الزمن ، يسمحان بجعل القياس مباشرا . ويمكننا عندئذ أن نعمم هذه القياسات ولجعل منها قوانين . وقد يتفق جميع العلماء أيضا على أن القوانين التى تتعلق بسلوك الجزيئات الفردية ، إنما هى قوانين نظرية ، لأن مثل هذه القوانين تختص بعملية صغرى ، بحيث لايمكن للتعميمات فيها أن تؤسس على قياسات بسيطة ومباشرة .

وبالطبع ، القوانين النظرية أكثر عمومية من القوانين التجريبية . وبالإضافة إلى ذلك ، ينبغى أن ندرك أن التوصل إلى قوانين نظرية لايتم بسهولة ، كأن نضعة مثلا بضع قوانين تجريبيسة معا ، ثم نقوم بتعميمها عن طريق خطوات قليلة أبعد . أو نقول بكلمات أخرى أن العالم يتوصل إلى قانون تجريبى بعد أن لاحظ حوادث معينة فى الطبيعة ، ثم اكتشف انتظاما معينا بينها ، ووصف هذا الانتظام عن طريق اجراء تعميم استقرائى . ثم نفترض أنه تمكن من وضع مجموعة من القوانين التجريبية معا ، بعد أن لاحظ ارتباطا ما بينها وأجرى تعميما استقرائيا أوسع ، ثم توصل أخيرا إلى قانون نظرى . ليس هذا ما نعينه على الاطلاق .

ولكى نوضح هذا أكثر ، افترض اننا لاحظنا تمددا فى قضيب حديد معين عند تسخينه ، ثم كررنا التجربة عدة مرات ، وتوصلنا فى كل مرة إلى نفس النتيجة . فاننا نقوم حينئذ بتعميم

مالاحظناه بقولنا أن هذا القضيب يتمدد عند تسخينه . وبهذا نكون قد توصلنا إلى قانون تجريبى حتى على الرغم من مجاله الضيق الذى ينطبق فقط على قضيب حديد واحد ، ولكن إذا أجرينا عدة تجارب على أجسام أخرى من الحديد ، وتوصلنا إلى اكتشاف مؤداه أنه فى كل مرة يتم فيها تسخين أجسام الحديد ، فانها تتمدد ، نكون بهذا قد توصلنا إلى صياغة قانون أكثر عمومية أعنى كل الحديد يتمدد بالتسخين ، ويمكننا بنفس الطريقة أن نتوصل إلى قوانين أكثر عمومية مثل " كل المعادن .. " ثم " كل الاجسام الصلبة .. " ومن ثم فاننا بدأنا من تعميمات بسيطة ثم صعدنا إلى ماهو أكثر عمومية مما سبقتها فأكثر .. ، ولكنها جميعا قوانين تجريبية ، لماذا ؟ لأننا فى كل حالة منها قد تعاملنا مع موضوعات قابلة للملاحظة ( الحديد ، النحاس ، المعدن ، الأجسام الصلبة ) ، أما الزيادة فى درجة الحرارة ، وطول كل حالة من هذه الحالات ، فإنه يمكن قياسها بوسائل تقنية بسيطة ومباشرة .

أما القانون النظرى فهو على العكس من ذلك يتعلق بتلك العملية التى يمكن لها أن تعزى إلى سلوك الجزيئات فى قضيب الحديد . بأية طريقة تسلك الجزيئات المرتبطة بتمدد القضيب عنـد تسخينه ؟ ولعلك تكتشف فى الحال أننا نتحدث عما لايمكن رصده وينبغى عندئذ أن نستعين بنظرية ـ النظرية الذرية للمادة ـ وبسرعة نجد أنفسنا منغمسين فى قوانين ذرية تستخدم مفاهيم مختلفة تماما عما كنا نستخدمها من قبل . والحقيقة أن هذه المفاهيم النظرية تختلف عن مفاهيم الطول ودرجة الحرارة فى الطريقة والدرجة التى يتم بهما رصد الظاهرة ، وما إذا كان ذلك بشكل مباشر أم لا . والحقيقة أيضا أن الاختلاف بينهما كبير إلى الدرجة التى لم يعد هناك جدال حول الاختلاف الجذرى بين طبيعة القوانين التى ينبغى أن تصاغ فى كل منهما .

ويمكن أن تتعلق القوانين النظرية بالقوانين التجريبية بطريقة تماثل إلى حد ما الطريقة التى تتعلق بها القوانين التجريبية مع الوقائع الجزئية . إذ أن القانون التجريبى يساعدنا على تفسير واقعة خضعت للملاحظة من قبل ، كما أنه يساعدنا على التنبؤ بواقعة لم تلحظ بعد. وبطريقة مماثلة ، يساعدنا القانون النظرى على تفسير قوانين تجريبية صيغت من قبل ، كما أنه يسمح لنا باشتقاق قوانين تجريبية جديدة ، تماما كما يحدث مع الوقائع الجزئية المتفرقة التى يلاحظ انها تحدث بشكل منتظم ثم يجرى تعميمها على شكل قانون تجريبى . وتعترضنا هنا واحدة من المشكلات الرئيسية فى مناهج العلوم ، ألا وهى ، كيف يمكننا أن نحصل على نوع المعرفة التى سوف نبرر بها تقريرنا لقانون نظرى . وربما يمكننا تبرير قانون تجريبى عن طريق اجراء ملاحظات لوقائع جزئية ، ولكن عند تبريرنا قانونا نظريا لايمكننا أن نجرى ملاحظات قابلة للمقارنة ، لأن

الكيانات المستدل عليها فى القوانين النظرية لاتخضع للملاحظة .

وقبل الانشغال بهذه المشكلة ، يجدر بنا أن نشير إلى بعض الملاحظات التى سبق أن ذكرناها فى فصل سابق ، والتى تتعلق باستخدام كلمة " واقعة " " Fact " يهمنا جدا فى هذا السياق أن نركز اهتمامنا إلى حد كبير ، على استخدام هذه الكلمة ، لأن هناك بعض المؤلفين ، وبخاصة العلماء ، يستخدمون كلمة " واقعة " أو " واقعة تجريبية " للاشارة إلى بعض القضايا التى اطلق عليها اسم ، قوانين تجريبية . فعلى سبيل المثال نجد أن بعض العلماء يشيرون إلى " الواقعة " بأنها الحرارة النوعية للنحاس والتى تساوى ٠.٩٠ر ، وأنا اعتبر هذا قانونا ، لأنه مصاغ صياغة كاملة ، ويأخذ صورة القضية الشرطية الكلية التالية : " بالنسبة لاى م ، وأى زمن ت ، إذا كانت م جسما نحاسيا صلبا ، إذن لكانت الحرارة النوعية لـ م فى الزمن ن ، تساوى ٠.٩٠ ر " . ويطيب لبعض الفيزيائيين الحديث عن قانون التمدد الحرارى ، أو قانون أوم ، أو قوانين أخرى بوصفها وقائع ، وعندئذ يمكنهم بالطبع أن يقولوا أن القوانين النظرية تساعد على تفسير مثل هذه الوقائع وهذا شبيه بعبارتى التى أقرر فيها أن القوانين التجريبية تفسر الوقائع ، ولكن كلمة " واقعة " هنا تستخدم بطريقتين مختلفتين . أننى احصر الكلمة فى الوقائع العيانية الجزئية التى يمكن تعيينها زمكانيا ، وليس فى التمدد الحرارى بصفة عامة ، وإنما التمدد فى هذا القضيب الحديدى الذى كان ماثلا أمامى هذا الصباح ، وكانت الساعة تشير إلى العاشرة عندما قمت بتسخينه . ومن الأهمية بمكان أن نضع نصب أعيننا الطريقة المحددة التى نتحدث بها عن الوقائع ، لأننا إذا استخدمنا كلمة " واقعة " بطريقة غامضة ، لكان الاختلاف الهام بين القوانين التجريبية والنظرية غير واضح المعالم تماما .

كيف يمكننا إذن اكتشاف القوانين النظرية ؟ لايمكننا بالطبع أن نقول : " دعنا نجمع معطيات أكثر فأكثر وعندئذ نقوم بتعميم القوانين التجريبية ، فنصل إلى قوانين نظرية " لأنه ليس ثمة قانون نظرى على الاطلاق تمت صياغته بمثل هذه الطريقة . وإنما نحن نلاحظ الاحجار والاشجار والازهار ، وندّون انتظامات معينة ثم نصف هذه الانتظامات عن طريق القوانين التجريبية . أما فيما يتعلق بالجزيئات فلايهمنا الوقت الذى نستغرقه فى ملاحظتها أو العناية التى نوليها لهذه الملاحظة ، لأننا لن نصل ابدا إلى المرحلة التى نستطيع فيها رصد " جزئى " . ولهذا السبب لايمكن لأى عدد من التعميمات التى تقوم على الملاحظات ، أن تقدم لنا نظرية عن العمليات الجزيئية ، وإنما ينبغى لمثل هذه النظرية أن تقوم بطريقة أخرى . إنها تقوم ليس بوصفها تعميما لوقائع ، وإنما بوصفها فرضا علميا . ويمكننا عندئذ أن نختبر هذا الفرض بطريقة مماثلة إلى حد ما

لطريقة اختيار القانون التجريبى . إذ أننا من هذا الفرض نشتق قوانين تجريبية معينة ، ثم نختبر هذه القوانين التجريبية بالتالى ، عن طريق ملاحظة الوقائع وربما كانت القوانين التجريبية المشتقة من القوانين النظرية معروفة مسبقا وتم اختبارها جيدا ( كما يمكن لهذه القوانين أن تولّد فينا باعثا على صياغة القانون النظرى ) ، وبغض النظر عما إذا كانت القوانين التجريبية المشتقة معروفة ومقررة من قبل ، أو ما إذا كانت جديدة وتم اقرارها عن طريق ملاحظات جديدة ، فإن تقرير مثل هذه القوانين المشتقة ، يزوّد القانون النظرى بتقرير غير مباشر .

والنقطة التى أود توضيحها هنا ، هى أن العالم لا يبدأ من قانون تجريبى واحد ، وليكن قانون بويل للغازات ، ثم يبحث عن نظرية للجزيئات يشتق منها هذا القانون ، وإنما يحاول أن يصوغ نظرية أكثر عمومية بكثير مما يمكن اشتقاقه من مختلف القوانين التجريبية . إن هذه القوانين الأكثر تنوعا ووضوحا تفتقر إلي الارتباط بين الواحدة منها والأخرى ، أما النظرية الأكثر قوة فهى التى نقوم بتفسيرها . وقد تكون بعض هذه القوانين معروفة من قبل ولكن ينبغى للنظرية أيضا أن تجعل من الممكن اشتقاق قوانين تجريبية أخرى يمكن تقريرها عن طريق اختبارات جديدة . وإذا كان الأمر كذلك ، لأمكننا أن نقرر أن النظرية تجعل من الممكن التنبؤ بقوانين تجريبية جديدة . ويفهم التنبؤ بطريقة افتراضية فإذا انعقدت نظرية تنعقد أيضا قوانين تجريبية معينة . فالقانون التجريبى المتنبأ به يتحدث عن علاقات بين مرصودات ، ومن ثم فهو يمكننا من أن نجرى تجارب لنرى ما إذا كان هذا القانون ينعقد أو لا ، فإذا انعقد كان مقررا ، واصبح فى امكانه أن يمد النظرية بتقرير غير مباشر . إذ أن كل تقرير أو اثبات لقانون تجريبى أو حتى نظرى ، إنما هو تقرير جزئى فقط ، ولايمكن بأية حال أن يكون كاملا أو مطلقا على الاطلاق . ولكن فى حالة القوانين التجريبية فإن التقرير يكون أكثر مباشرة ، أما فى حالة القانون النظرى فانه يكون غير مباشر ، لأنه يحدث فقط من خلال تقرير قوانين تجريبية مشتقة من النظرية .

وتنحصر قيمة أى نظرية جديدة فى قدرتها على التنبؤ بقوانين تجريبية جديدة . وصحيح أيضا أن قيمتها تكون فى تفسير قوانين تجريبية معروفة من قبل ، ولكن هذه القيمة ثانوية وليست أساسية . فإذا اقترح عالم ما نسقا نظريا جديدا ، ولم يكن من الممكن أن نشتق منه قوانين جديدة ، فان هذا يكافئ منطقيا مجموعة من القوانين التجريبية المعروفة ، بحيث يجعل النظرية تتصف بانسجام معين ، يمكنها من تبسيط مجموعة من القوانين التجريبية المعروفة . بيد إن من المستبعد أن يكون هذا التبسيط جوهريا . ومن ناحية أخرى ، كل نظرية جديدة فى الفيزياء تمكننا من اشتقاق قوانين تجريبية جديدة ، لابد أن تؤدى إلى وثبة إلى الأمام فإذا اقتصر

اينشتين على نظريته فى النسبية على اعتبار أنها نظرية جديدة منسجمة ، تضم مجموعة من القوانين المعروفة وتجعلها أكثر تبسيطا إلى حد ما ، لما كان لنظريته مثل هذا التأثير الثورى .

ولأنها على العكس من ذلك تماما ، سمحت باشتقاق قوانين تجريبية جديدة ، وفسرت منذ الوهلة الأولى عدة ظواهر مثل حركة الكوكب عطارد ، وأقرب نقطة له للشمس ، وأيضا ميل الأشعة الضوئية المجاورة للشمس ، كان لها هذا التأثير . إذ أوضحت هذه التنبؤات أن نظرية النسبية كانت أكثر من مجرد طريقة جديدة للتعبير عن قوانين قديمة . ومن ثم فقد كانت فى الحقيقة نظرية ذات قدرة تنبؤية عالية ، وترتبت عليها نتائج بعيدة الأثر . ولم يكن من الممكن اشتقاق هذه النتائج من نظريات أقدم .

وعادة ماتكون نظرية بمثل هذه القوة ، متناسقة ، وذات تأثير موحد للقوانين المعروفة ، فهى أبسط من مجرد تجميع كلى لقوانين معروفة . ومن ثم فإن القيمة العظمى للنظرية تكمن فى قوتها على اقتراح قوانين جديدة يمكن تقريرها ( اثباتها ) بوسائل تجريبية .

**هوامش :**

(١) سوف نترجم هذا المصطلح بالكلمات : يمكن ملاحظته ، أو يخضع للملاحظة أو يمكن رصده أو مرصود بمعنى واحد وذلك حسب ورودها فى الجملة بما يحفظ سلامة اللغة .

(٢) الاميتر هو اداة قياس شدة التيار الكهربائى بالامبير . ( المترجم )

## الفصل الرابع والعشرون

# قواعد المطابقة

يجدر بنا أن نضيف تعديلا هاما للمناقشة التى عقدناها فى الفصل السابق حول القوانين النظرية والحدود المفترضة . إذ أن التقرير بأن القوانين التجريبية تشتق من قوانين نظرية إنما هو تبسيط شديد . لأنه ليس من الممكن اشتقاقها بشكل مباشر نظرا لأن أى قانون نظرى إنما يحتوى على حدود نظرية ، فى حين أن أى قانون تجريبى يحتوى على حدود يمكن اخضاعها للملاحظة فقط . وهذا يمنع أى استنباط مباشر لقانون تجريبى من قانون نظرى .

ولكى نفهم هذا جيدا ، تخيل أننا نعود إلى القرن التاسع عشر ، متأهبين منذ الوهلة الأولى أن نذكر بعض القوانين النظرية المتعلقة بجزيئات فى غاز . تصف هذه القوانين عدد جزيئات كل وحدة حجم من الغاز والسرعات الجزيئية وهكذا . ولكى نبسط المسائل أكثر ، دعنا نفترض أن لجميع الجزيئات نفس السرعة ( كان هذا فى الواقع هو الافتراض الأصلى ، إلا أنه تم الاستغناء عنه اخيرا لصالح توزيع السرعات طبقا لاحتمال معين ) . وبالإضافة إلى ذلك ، نضع افتراضات حول مايحدث عندما تتصادم الجزيئات أننا لانعرف الشكل الدقيق للجزيئات ، ولذلك دعنا نفترض أنها أجسام كروية شديدة الصغر كيف تتصادم الكرات ؟ هناك قوانين عن تصادم الكرات ، لكنها تختص بالاجسام الضخمة ، ولأننا لن نتمكن من رصد الجزيئات بشكل مباشر ، فأننا نفترض تصادماتها بطريقة مماثلة لما يحدث للاجسام الكبيرة ، فقد تسلك ككرات بليارد بالغة حد الكمال على منضدة غير احتكاكية (١) وهناك بالطبع افتراضات فقط ، وتخمينات مقترحة عن طريق مماثلتها بقوانين معروفة تختص بالاجسام الضخمة .

ولكن تواجهنا الآن مشكلة صعبة ألا وهى أن قوانيننا النظرية تتعامل بصفة خاصة مع سلوك جزيئات لايمكن رؤيتها ، ومن ثم كيف نستنبط من مثل هذه القوانين ، قانونا عن خواص يمكن ملاحظتها ، مثل ضغط أو حرارة غاز ، أو خواص موجات صوتية تمر من خلال غاز ؟ إن القوانين النظرية تشتمل فقط على حدود نظرية ، وما نبحث عنه هو قوانين تجريبية مشتملة على حدود

يمكن رصدها ، ومن الواضح أن مثل هذه القوانين لايمكن اشتقاقها دون أن يكون لها شئ آخر معطى بالاضافة إلى القوانين النظرية .

أما هذا الشئ الآخر الذى ينبغى أن يعطى إنما هو : مجموعة من القواعد تربط الحدود النظرية بالحدود التى يمكن رصدها ولقد اعترف الفيزيائيون وفلاسفة العلم بالحاجة الماسة لمثل هذه المجموعة من القواعد ، وناقشوا طبيعتها فى الغالب الاعم . وإليك مثالا لقاعدة من هذا النوع : " إذا كان ثمة ذبذبة اليكترومغناطيسية لتكرار معين ، إذن لكان ثمة لون أزرق ـ مخضر يمكن رؤيته بشكل متدرج " . وهنا نجد شيئا ما يمكن رصده مرتبطا بعملية ميكروسكوكبية لاتخضع للملاحظة .

وإليك بمثال آخر : " تتناسب درجة حرارة غاز ( وهذه الدرجة قيست بترمومتر ، ومن ثم يمكن رصدها ، بالمعنى الأوسع الذى سبق شرحه ) مع متوسط الطاقة الحركية لجزيئاتها " وهذه القاعدة تربط ما لايمكن رصده فى النظرية الجزيئية ، ألا وهو الطاقة الحركية للجزيئات ، مع مايمكن رصده ألا وهو درجة حرارة الغاز . فإذا لم يكن لدينا هذا النوع من التقريرات ، لما كانت لدينا وسيلة لاشتقاق قوانين تجريبية عن مرصودات من قوانين نظرية عن لا مرصودات .

ولقد وضع العديد من المؤلفين مسميات مختلفة لهذه القواعد ، فأنا أدعـوها " قواعد المطابقة " ويدعوها ب . و . بردجمان " P.W. Bridgman " " قواعد اجرائية " أما نورمان ك كامبل " Norman R. Campbell " فيتحدث عنها بوصفها " القاموس " (٢) لأن قواعد تربط حدا فى مصطلح بحد فى مصطلح آخر ، كما أن استخدام القواعد يكون شبيها باستخدام قاموس فرنسى ـ انجليزى . فإذا أردت أن تعرف معنى الكلمة الفرنسية " Cheval " فانك تبحث عنها فى القاموس وتجد أنها تعنى " حصان " " Horse " وعلى الرغم من أن الأمر ليس بمثل هذه البساطة عندما يتعلق باستخدام مجموعة من القواعد لربط لامرصودات بمرصودات ، إلا أنه شبيه بذلك ، مما يجعـل " قاموس " كامبل ضمن الاسماء المقترحة لمجموعة القواعد .

ومن حين لآخر يراودنا التفكير فى تزويد مجموعة القواعد بوسائل لتعريف الحدود النظرية فى حين أن العكس تماما هو الصحيح . إذ أن الحد النظرى لايمكن تعريفه أبدا على نحو واضح عن طريق حدود خاضعة للملاحظة ، فى حين يمكن تعريف ما يخضع للملاحظة فى حدود نظرية . فأننا نعرّف الحديد مثلا بوصفه عنصرا يحتوى على اجزاء بللورية صغيرة للذرات فيها ترتيب

معين ، ولكل ذرة وضع نسبى لجسيمات نموذج معين إذن من الممكن أن نعبر ، فى حدود نظرية ، عما يعنيه الحد المرصود " حديد " ولكن العكس غير صحيح .

ومن ثم لانجد اجابة شافية على السؤال : " ماهو الاليكترون علي وجه التحديد " ؟ إلا أننا سوف نعود إلى هذا السؤال فيما بعد ، لأنه يعد من الأسئلة التى يوجهها دائما الفلاسفة للعلماء . وهم يطلبون من الفيزيائى أن يخبرهم عما يعنيه تماما من " الكهربية " و" المغناطيسية " و" الجاذبية " و " الجزئ " ، فإذا شرحها الفيزيائى فى حدود نظرية ، لربما خاب أمل الفيلسوف ، وقد يبتدره بقوله " أننى لاأعنى هذا على الاطلاق ، وإنما أريدك أن تخبرنى فى لغة عادية ماتعنيه تلك الحدود ، وفى بعض الاحيان يؤلف الفيلسوف كتابا يتحدث فيه عن الاسرار الكبرى للطبيعة ، ويصرح قائلا " لم يتمكن أحد حتى الآن ، وربما لن يتمكن أحد على الاطلاق من أن يقدم لنا اجابة شافية على السؤال " ما الكهرباء ؟ ومن ثم تظل الكهرباء واحدة من الاسرار الكبرى للعالم ، والتى يستحيل سبر غورها إلى الأبد " .

والحقيقة أنه ليس ثمة سر هنا ، وإنما توجد فقط مسألة تم التعبير عنها بشكل موجز غير مناسب . ولاينبغى أن نطلب تعريفات فى طبيعة الحالة ، نعجز عن الاتيان بها . فإذا كان ثمة طفل لايعرف ما هو الفيل ، وطلب منا تعريفه ، لأمكننا أن نخبره بأنه حيوان ضخم له أذنان كبيرتان وخرطوم كبير ، كما يمكننا أن نطلعه على صورة لفيل تساعد على تعريفه فى حدود يمكن رصدها بحيث يتمكن الطفل من أن يفهم ويميل إلى الاعتقاد بأن العالم ينبغى أن يكون قادرا على أن يعرّف الحدود النظرية بطريقة مماثلة . ولكن هذا غير ممكن ، لأنه ليس ثمة وسيلة يمكن للعالم بها أن يطلعنا على صورة الكهرباء بنفس الطريقة التى نطلع بها صورة فيل على طفل . بيد أن الخلية العضوية ، برغم أنها لاترى بالعين المجردة ، إلا أنه يمكن تمثلها عن طريق صورة ، وذلك لأننا نراها عند النظر إليها من خلال ميكروسكوب . أما عندما يتعلق الأمر باليكترون ، فلايمكننا أن نحصل على صورة له ، ومن ثم لانستطيع أن نقول كيف يبدو أو كيف يحس ، لأنه ببساطة لايرى ولايلمس وأفضل ما يمكننا فعله هو أن نقول أنه جسم شديد الصغر يسلك بطريقة معينة ، ويبدو أن هذا يماثل وصفنا لفيل ، فقد نصف الفيل بأنه حيوان ضخم يسلك بطريقة معينة ، فلماذا لانفعل نفس الشئ مع اليكترون ؟ الاجابة هى أن الفيزيائى لايمكنه أن يصف سلوك اليكترون إلا بذكر قوانين نظرية ، ولاتشتمل هذه القوانين إلا على حدود نظرية ، فهى تصف المجال المنتج بواسطة اليكترون ، ورد فعل اليكترون فى مجال ، وهكذا . فإذا كان اليكترون فى مجال كهربى ثابت فإن سرعته سوف تتسارع بطريقة معينة . ولسوء الحظ لايخضع

تسارع الاليكترون للملاحظة ، فهو لايشبه تسارع كرة بليارد ، ذلك الذى يمكن أن ندرسه بالملاحظة المباشرة ، ومن ثم فاننا نعدم الوسيلة التى نعرّف بها مفهوما نظريا فى حدود تنتمى إلى مرصودات . ولذلك ينبغى أن نقنع أنفسنا بحقيقة أنه لايمكن صياغة تعريفات من هذا النوع .

وصحيح أن بعض المؤلفين ، ومنهم بريدجمان ، تحدثوا عن القواعد بوصفها " تعريفات اجرائية " إلا أن بريدجمان كانت له تبريرات معينة ، فقد استخدم قواعده بطريقة تختلف بعض الشئ عن استخدام معظم الفيزيائيين ولاشك أنه كان فيزيائيا عظيما ، وبالتأكيد كان حذرا من الانحراف المعتاد فى استخدام القواعد ، إلا أنه كان يرغب فى قبول أشكال معينة للحديث ، غير مألوفة ، وهذا بالتحديد مايفسر انحرافه . ولقد أشرنا فى فصل سابق إلى أن بريدجمان فضل أن يقول أنه ليس ثمة مفهوم واحد كامل لشدة التيار الكهربى ، وإنما هناك عدة مفاهيم ، وأن أى اجراء يمكننا من قياس المقدار الضخم ، يمدنا بتعريف اجرائى لذلك المقدار ، ذلك لأن ثمة اجراءات ومفاهيم مختلفة لقياس التيار . ولكن لمتطلبات اصطلاحية يتحدث الفيزيائى عن مفهوم واحد كامل للتيار . ومن أجل أن يكون الحديث أكثر دقة ، اعتقد بريدجمان أنه ينبغى عليه أن يتعرف على مفاهيم مختلفة متعددة ، يعرّف كل منها باجراء عملى مختلف للقياس .

ونواجه ها هنا بعملية اختيار بين لغتين فيزيائيتين مختلفتين فإذا اتبعنا الاجراء المألوف بين الفيزيائيين لوضعنا المفهوم الواحد للتيار محل المفاهيم المتعددة . وأيا ما كان الأمر ، فإن هذا يعنى أننا نستخدم المفهوم فى القوانين النظرية ، لأن القواعد الاجرائية إنما هى قواعد مطابقة تماما ، كما اطلق عليها ، وهى تلك التى تربط الحدود النظرية بالحدود التجريبية ومن ثم فإن أى دعوى بأن يكون لدينا تعريف لمفهوم نظرى ـ الذى هو فى الحقيقة تعريف اجرائى ـ ينبغى أن تتوقف . والمبرر الوحيد الذى جعل بريدجمان يتحدث عن التعريفات الاجرائية هو أنه كان يتحدث عن مفاهيم جزئية ، وليس عن مفهوم عام ، ويتم تعريف كل منها عن طريق اجراء تجريبى مختلف . وحتى إذا كان الأمر كذلك فإن هذا قد يثير اشكالية صعبة .

كما أن ريشنباخ يحدثنا أيضا عما يطلق عليه اسم " التعريفات المتبادلة " ( وتكتب فى مؤلفاته المنشورة بالالمانية هكذا " Zuordnungs definitinen " وهى مأخوذة من الكلمة " Zuordnen " التى تعنى صلة أو علاقة متبادلة " Correlate " ) وربما يكون الارتباط أو التبادل مصطلحا أفضل من ذلك التعريف الذى قال به بريدجمان . أشار ريشنباخ إلى أننا فى

الهندسة مثلا ، نجد أن نسق البديهيات الذى طوره ديفيد هيلبرت (٣) " David Hilbert " غير واضح تماما ، لأن المفاهيم الأساسية التى وضعها للنقطة ، والخط ، والسطح ، يمكن أن نطلق عليها أيضا اسم " فئة الفا " و " فئة بيتا " و " فئة جاما " ولاينبغى أن نضلل بكلمات مثل " نقطة " و " خط " ونعتقد أن معناها هو ذلك المعنى المعتاد . ومن ثم تصبح حدود نسق البديهيات غير واضحة . ولكن عندما تطبق الهندسة على الفيزياء ، فإن هذه الحدود ترتبط بشئ ما فى العالم الفيزيائى ، كأن نقول مثلا أن خطوط الهندسة هى تلك التى تمثل أشعة الضوء فى الفضاء ، أو تلك التى تمثل الخيوط المشدودة ، ومن ثم فإن الظواهر الفيزيائية تربط الحدود غير الواضحة .

وما نطلق عليه اسم قواعد ، إنما هو فى الحقيقة مسألة اصطلاحية فقط ، ومن ثم ينبغى أن نكون حذرين ولانتحدث عنها بوصفها تعريفات ، لأنها ليست تعريفات بالمعنى الدقيق ، ولايمكننا أن نعطى تعريفا واقعيا مناسبا للمفهوم الهندسى " خط " وذلك عن طريق الاشارة إلى أى شئ فى الطبيعة كأشعة الضوء مثلا أو الخيوط المشدودة ، أو غيرها . ذلك لأنها ليست سوى مستقيمات تقريبية فقط ، كما أنها بالاضافة إلى ذلك ليست خطوطا لانهائية ، وإنما هى خطوط محدودة ، بينما الخط فى الهندسة لانهائى الطول ، واستقامته مطلقة ولانجد أيا من هذه الخواص فى أية ظاهرة فى الطبيعة . ولهذا السبب ، لانستطيع أن نعطى تعريفا اجرائيا بالمعنى الدقيق لهذه الكلمة لمفاهيم فى الهندسة النظرية ، وينطبق نفس الشئ على جميع المفاهيم النظرية الأخرى فى الفيزياء . فإذا أردنا أن نتحدث بدقة ، لأبد أن نعترف بأنه ليس ثمة " تعريفات " لمثل هذه المفاهيم ولذلك فاننى أفضل أن لا أتحدث عن " تعريفات اجرائية " أو حتى استخدام مصطلح ريشنباخ " تعريفات متبادلة " وإنما ـ وكما ذكرت ذلك فى مؤلفاتى ، علما بأننى لم أكتب حول هذه المسألة إلا فى السنوات القليلة الماضية ـ أفضل أن أطلق عليها اسم " قواعد للمطابقة " ، أو بتبسيط أكثر " قواعد المطابقة " .

وغالبا ما يتحدث كامبل ، ومؤلفون آخرون عن الكيانات " Entities " فى الفيزياء النظرية بوصفها كيانات رياضية . وهم يعنون بذلك أن الكيانات مرتبطة كل منها بالأخرى بوسائل يمكن التعبير عنها بدوال رياضية ولكنها ليست كيانات رياضية من النوع الذى يمكن تعريفه فى الرياضيات البحتة . ففى الرياضيات البحتة يمكن تعريف أنواع متعددة من الاعداد مثل دالة اللوغاريتم والدالة الأسية ، وهكذا بينما لانستطيع أن نعرّف حدودا مثل " اليكترون " و " درجة حرارة " بالرياضيات البحتة ، وإنما يمكننا تقييم الحدود الفيزيائية عن طريق ثوابت غير منطقية

تقوم على ملاحظات العالم الواقعى . ومن ثم يتضح أن هناك اختلافا جوهريا بين النسق البديهى فى الرياضيات والنسق البديهى فى الفيزياء .

وإذا أردنا أن نقدم تفسيرا لحد ما فى نسق بديهى رياضى ، لأمكننا أن نفعل ذلك عن طريق تعريف ما فى المنطق . افترض مثلا أننا أردنا أن نعرّف الحد " عدد " كما هو مستخدم فى نسق بيانو البديهى تعريفا منطقيا ، لاستعنا فى ذلك بطريقة فريجة ـ رسل " ( ٤ ) كما أن مفهوم " العدد " أيضا يتطلب تعريفا كاملا محددا يقوم على المنطق الخالص . لسنا فى حاجة إلى أن نقيم ارتباطا بين العدد خمسة وبين مرصودات مثل " أزرق " و " ساخن " إذ أن للحدود تفسيرا منطقيا فقط ، ولاتحتاج إلى الارتباط بالعالم الواقعى . ويطلق أحيانا على النسق البديهى فى الرياضيات اسم " النظرية " ، فنجد الرياضيين يتحدثون عن نظرية المجموعة " Set " ونظرية التجمع " Group " ، ونظرية المصفوفة " Matrix " ونظرية الاحتمال " Probability " وتستخدم كلمة النظرية " هنا بطريقة تحليلية خالصة ، فهى تشير إلى نسق استنباطى لا علاقة له بالعالم الواقعى ، ومن ثم علينا أن نحتفظ فى ذهننا دائما بالتمييز بين استخدام النظرية بهذا المعنى ، وبين استخدامها فى استدلال نظريات تجريبية كالنظرية النسبية أو نظرية الكم أو النظرية السيكوتحليلية أو النظرية الكنزية الاقتصادية .

ولايمكن لنسق المسلمات فى الفيزياء أن ينعزل انعزالا كاملا عن العالم ، كما هو الحال فى النظريات الرياضية ، وإنما ينبغى أن تفسر حدوده البديهية " اليكترون " " مجال" وهكذا ـ بمساعدة قواعد المطابقة التى تقوم بربط الحدود بالظواهر التى يمكن ملاحظاتها ، وهذا التفسير غير كامل بالضرورة . ولأنه دائما غير كامل فهو يترك النسق مفتوحا ليكون فى الامكان اضافة قواعد جديدة للمطابقة . والحقيقة أن هذا هو ما يحدث دائما فى تاريخ الفيزياء ، ولاأفكر الآن فى احداث ثورة فى الفيزياء بأن اطور فيها نظرية جديدة تماما ، وإنما كل غرضى هو أن اجرى قليلا من التغييرات الجديدة التى يمكنها أن تعدل أو تكيف النظريات الموجودة بالفعل . واعتقد أن فيزياء القرن التاسع عشر تقدم مثالا جيدا فى هذا الصدد . فقد تأسست الميكانيكا الكلاسيكية لعدة عقود ، وحدث تغير طفيف ونسبى فى قوانينها الأساسية ، ومع ذلك ظلت النظريات الأساسية فيها بلا تغيير على الرغم من الاضافة المستمرة لقواعد مطابقة جديدة لها ، لأنه كان ثمة اجراءات جديدة تتطور باستمرار لقياس هذا المقدار أو ذاك .

والخطر الذى يواجه الفيزيائيين دائما هو انهم مطالبون بتطوير قواعد للمطابقة قد تكون

متعارضة كل منها مع الأخرى أو مع القوانين النظرية . وإذا لم يحدث مثل هذا التعارض فانهم مطالبون دائما باضافة قواعد جديدة ، ومن ثم لن ينتهى الاجراء أبدا ، لأن ثمة امكانية دائمة لاضافة قواعد جديدة ، فعن طريق هذه الوسيلة تزداد فرص التفسير المخصصة للحدود النظرية ، ولايهم عددها على الاطلاق ، لأن التفسير لايعد نهائيا على الاطلاق . أما فى النسق الرياضى فإن الامريكون على العكس من ذلك تماما ، لأن التفسير المنطقى للحد البديهى يكون كاملا . ونجد هنا سببا اضافيا لمعارضة الحديث عن حدود نظرية يمكن " تعريفها " بقواعد مطابقة بحجة أنها تؤدى إلى طمس التمييز الهام بين طبيعة نسق بديهى فى الرياضيات البحتة وآخر فى الفيزياء النظرية .

ألا يمكن أن نفسر عن طريق قواعد المطالبة حدا نظريا لشكل كامل بحيث لانضيف إليه أى تفسير آخر ؟ ربما كان العالم الواقعى محدودا فى بنيته وقوانينه ، وربما نصل فى نهاية الأمر إلى نقطة لانستطيع أن نمضى خلفها لتقوية حد التفسير عن طريق قواعد مطابقة جديدة ، ألا يمكن أن تزودنا القواعد إذن بتعريف نهائى وواضح للحد ؟ أجل ، ولكن الحد عندئذ يكف عن أن يكون نظريا ، وإنما يصبح جزءا من لغة الملاحظة . إن تاريخ الفيزياء لم يبين إلى الآن أن الفيزياء سوف تصبح كاملة أبدا ، وإنما بيّن أن ثمة اضافات باستمرار لقواعد مطابقة جديدة وتعديلات مستمرة لتفسيرات حدود نظرية . ولاتوجد وسيلة لمعرفة ما إذا كانت هذه العملية لانهائية أو ما إذا كنا سوف نتوصل أخيرا إلى نوع ما من النهاية . ولكن ربما ينظر إلى المسألة على هذا النحو : إن الفيزياء لاتحظر عمل قواعد مطابقة على حد ما . وذلك لكى يتقوى ويصبح حدا معرفا بشكل واضح ، ويتوقف عن أن يكون نظريا . ولا أساس للافتراض إن من الممكن اضافة قواعد مطابقة جديدة ، لأن تاريخ الفيزياء قد بيّن بوضوح مثل هذا التعديل الثابت والمضطرد للمفاهيم النظرية وأن معظم الفيزيائيين قد ينصحون باتخاذ موقف معارض لقواعد المطابقة ، حتى يصبح الحد النظرى معرفا بشكل واضح . وأكثر من ذلك يعتبرونه اجراء غير ضرورى ، لن نجنى من ورائه أى شئ ، بل ربما يكون أثره المناوئ ، عائقا للتقدم .

وينبغى علينا بالطبع أن نسلم مرة أخرى هنا بأن التمييز بين المرصودات واللامرصودات ، إنما هو مسألة درجة ، كما ينبغى أن نعطى تعريفا واضحا لمفهوم مثل الطول عن طريق اجراءات تجريبية ، لأنه يقاس ببساطة وبشكل مباشر ، ومن المستبعد تعديله عن طريق ملاحظات جديدة . ولكن من التهور أن نبحث عن قواعد مطابقة قوية " لالكترون " تم تعريفة بشكل قطعى . إذ أن المفهـوم " اليكترون " يخرج تماما من نطاق المرصودات البسيطة المباشرة ، ولذا يفضل أن نحتفظ

به نظريا ونجعله قابلا للتعديلات عن طريق اجراء ملاحظات جديدة .

* * *

### هوامش :

(١) ويقصد كارناب أن تكون الكرات دقيقة الاستدارة ، والمنضدة ملساء حتى لايؤثر غير ذلك على حركاتها . ( المترجم ) .

(٢) انظر بيرسى و . بردجمان منطق الفيزياء الحديثة ( نيويورك : ماكميلان ، ١٩٢٧ ) . وأيضا نورمان ل . كامبل " الفيزياء : العناصر ( كمبردج . منشورات جامعة كمبردج ١٩٢٠ ) كما ناقش ارنست ناجل قواعد المطابقة فى كتابه " بنية العلم " ( نيويورك ، ١٩٦١ ) ص ٩٧ - ١٠٥ ) .

(٣) كان هيلبرت استاذا للرياضيات بجامعة برلين حتى عام ١٩٤٥ وهو الذى وضع أساس النظرية الاكسوماتيكية : Axiomatic Theory " فى المنطق ، تلك النظرية التى عارض بها مذهب جبر المنطق لجورج بول من جهة والمذهب اللوجستيقى لبرتراند رسل من جهة أخرى . فهو لايرى أن الصلة بين المنطق والرياضة هى صلة جزء بكل كما ذهب إلى ذلك مذهب جبر المنطق ، كما لايرى أن هذه الصلة هى صلة كل بجزء كما رأى أصحاب المذهب اللوجستيقى ، وإنما اتجه اتجاها آخر وهو أن المنطق والرياضة معا نبعا من أصول اكسيوماتيكية ( بديهية ) واحدة لا هى منطقية ولا هى رياضية ، بل هى ذات طبيعة فوقية ، تعلو على المنطق والرياضة معا . ( المترجم ) .

(٤) حاول بيانو أن يرد الرياضيات إلى أصول منطقية بحتة ، فوضع من أجل ذلك عدة مبادئ أساسية يعتمد عليها النسق الاستنباطى فى المنطق ثم وضع مجموعتين من أصول الاشتقاق تتضمن المجموعة الأولى ثلاثة أفكار ابتدائية هى : الصفر ، والعدد ، والتالى ، أما المجموعة الثانية فتشتمل على خمس قضايا ابتدائية هى : ١ - الصفر عدد . ٢ - تالى أى عدد هو عدد . ٣ - ليس لعددين نفس التالى ٤ - الصفر ليس تاليا لأى عدد ٥ - أى خاصة بين خواص الصفر هى بالضرورة خاصة لجميع الاعداد . ثم يحاول أن يشتق نظرية الاعداد الطبيعية من المبادئ التى وضعها لنسقه الاستنباطى ، إلا أنه تعرض لنقد رسل الذى اعتبر هذه المحاولة موقفا أوليا من الاشتقاق وليس نهائيا فى الرد . حيث أن الصفر ، والعدد ، والتالى تقبل عددا لانهائيا من التفسيرات المختلفة . ثم وضع تعريفا منطقيا للعدد اكتشف فيما بعد أنه يشبه تعريف فريجه . ( المترجم ) .

# كيف تشتق القوانين التجريبية الحديثة من القوانين النظرية

دارت المناقشة فى الفصسل الرابع والعشرين ، حول الطرق التى تستخدم فيها قواعد المطابقة لربط حدود نظرية لايمكن رصدها بحدود قوانين تجريبية يمكن رصدها . ويمكن توضيح هذا بجلاء أكثر عن طريق سوق أمثلة قليلة تتعرض للطريقة التى يتم بها بالفعل اشتقاق قوانين تجريبية من قوانـين نظرية .

يتعلق المثال الأول بالنظرية الحركية للغازات ، تلك النظرية التى يمكن أن يكون نموذجها أو صورتها النسقية عبارة عن واحدة من الجسيمات الصغيرة التى يطلق عليها اسم الجزيئات ، وهى تتحرك جميعا حركة ثابتة . فى صورتها الأصلية ، جعلت النظرية هذه الجسيمات عبارة عن كرات صغيرة ، لكل كرة نفس الكتلة ، وعندما تكون درجة حرارة الغاز ثابتة ، تكون نفس السرعة ثابتة أيضا . ولقد اكتشف أخيرا أن الغاز لايكون فى حالة من الاستقرار إذا كان لكل جسيم نفـس السرعة ، لذا كان من الضرورى أن نتوصل إلى توزيع احتمالى معين للسرعات التى سوف تظل مستقرة . وأطلق على هذا التوزيع اسم ، توزيع بولتزمان ـ ماكسويل . وطبقا له نضع نسبة معينة من الاحتمال بأن أى جزئى يتواجد فى مجال معين يكون على مقياس سرعة معينة .

ولما كانت النظرية الحركية فى بداية تطورها ، فقد حدث العديد من التطورات الهامة فى قوانين النظرية لم تكن معروفة من قبل . فلم يكن أحد يعرف على وجه التحديد كتلة الجزئ ، أو عدد الجزيئات الموجودة فى سنتيمتر مكعب من الغاز ، فى درجة حرارة وضغط معينين . ولقد تم التوصل إلى هذه المقادير عن طريق بارامترات معينة صيغت فى قوانين . وبعد أن تمت صياغتها فـى معادلات ، أمكن اعداد معجم لقواعد المطابقة ، وأمكن عن طريق هذه القواعد ربط الحدود النظرية بالظواهر التى تخضع للملاحظة بحيث أصبح فى مقدورنا أن نحدد وبطريقة مباشرة ، قيم

البارامترات فى المعادلات ، ومن ثم استطعنا اشتقاق القوانين التجريبية . وتقرر إحدى قواعد المطابقة هذه ، أن درجة حرارة الغاز تتطابق مع متوسط القوة الحركية للجزيئات . كما تربط قاعدة أخرى ضغط الغاز بتصادم الجزيئات على الجدار المحيط بأناء . وعلى الرغم من عدم استمرار هذه العملية لاشتمالها على جزيئات منفصلة ، إلا أنه يمكنه ملاحظة النتيجة الكلية باعتبارها قوة ضغط ثابتة على الجدار . وهكذا أمكن عن طريق قواعد المطابقة التعبير عن الضغط ـ الذى تم قياسه ماكروسكوبيا بمانومتر ( مقياس ضغط الغاز ) ـ فى حدود ميكانيكا الجزيئات الاحصائية .

ماهى كثافة الغاز ؟ إن الكثافة هى كتلة كل وحدة حجم ولكن كيف نقيس جزيئا ؟ مرة أخرى ، يزودنا معجمنا ـ وهو معجم صغير جدا ـ بقاعدة المطابقة . أنه كتلة الغاز الكلية ك هى مجموع كتل الجزيئات ك $^{-}$ (١) و ك يمكن رصدها ( لأننا يمكننا أن نزن الغاز ببساطة ) ولكن ك تنتمى إلى ما هو نظرى . ويعطى معجم قواعد المطابقة ارتباطا بين مفهومين . وبمساعدة هذا المعجم يكون ممكننا اشتقاق الاختبارات التجريبية لقوانين عديدة من نظريتنا ، وعلى أساس النظرية يمكن أن نحسب ما سوف يحدث لضغط الغاز عندما يكون حجمه ثابتا ، ويزداد ضغطه كما يمكننا أن نحسب ما سوف يحدث لموجة صوت نتجت عن ضربة على جانب الاناء ، وما سوف يحدث إذا قمنا بتسخين جزء فقط من الغاز . وتفسر القوانين النظرية فى حدود البارامترات المختلفة التى تصاغ فى معادلات النظرية . كما يمكننا معجم قواعد المطابقة من أن نعبر عن هذه المعادلات بوصفها قوانين تجريبية ، وبحيث يمكن قياس المفاهيم ، ومن ثم تمدنا الاجراءات التجريبية بقيم للبارامترات . فإذا تأيدت القوانين التجريبية ، فإن هذا يعطى تأييدا غير مباشر للنظرية . ولقد تم تعريف الكثير من القوانين التجريبية بالطبع قبل أن تتطور النظرية الحركية ، فأمدت هذه القوانين النظرية بالتفسير وبالإضافة إلى ذلك أدت النظرية إلى قوانين تجريبية لم تكن معروفة من قبل .

والحقيقة أن قوة النظرية إنما تكمن فى التنبؤ بقوانين تجريبية جديدة . ويمكن توضيح ذلك عن طريق أمثلة ممتازة ، أعنى بها النظرية الكهرومغناطيسية التى طورها اثنان من الفيزيائيين الانجليز العظماء حوالى عام ١٨٦٠ ، وهما ميخائيل فارادى " Micheel Faraday " وجيمس كلارك ماكسويل " James Clerk Maxmell " ( أنجز فارادى معظم العمل التجريبى ، وأنجز ماكسويل معظم العمل الرياضى ، تعاملت النظرية مع كيفية مسار شحنات كهربية فى مجالات كهربية ومغناطيسية . ولم يكن مفهوم الالبكترون ـ وهو جسم صغير جدا ـ

له شحنة كهربية أولية ـ قد تمت صياغته بعد حتى نهاية القرن . ومن أجل وصف المجالات الكهرومغناطيسية ، افترضت مجموعة المعادلات التفاضلية الشهيرة لماكسويل أجساما منفصلة صغيرة ذات طبيعة مجهولة ، قادرة على حمل شحنة كهربية أو قطب مغناطيسى . فماذا يحدث عندما يتحرك تيار عبر سلك نحاسى ؟ تناول معجم النظرية هذه النظرية التى تخضع للملاحظة ، وطبقها على الحركة الفعلية عبر تيار من الاجسام المشحونة قليلا . ومن نموذج ماكسويل النظرى أصبح من الممكن ( بمساعدة قواعد المطابقة طبعا ) اشتقاق العديد من القوانين الكهربية والمغناطيسية المعروفة .

ولقد أنجز النموذج أكثر من هذا بكثير . فقد كان فى معادلات ماكسويل بارامتر معين يرمز له بالرمز " c " . وطبقا لهذا النموذج ينتشر اضطرابا فى مجال كهرومغناطيسى عن طريق موجات لها السرعة " c " . ولقد أظهرت التجارب الكهربية قيمة " c " التى تساوى ٣ × ١٠ [١٠] سنتميترا فى كل ثانية تقريبا . وكانت هذه القيمة هى نفس القيمة المعروفة لسرعة الضوء ، ومن غير المحتمل ، فيما يبدو ، أن يكون هذا الأمر مجرد شئ عرضى . فهل كان من الممكن أن يسأل الفيزيائيون انفسهم أن الضوء إنما هو ببساطة حالة خصوصية لانتشار ذبذبة كهرومغناطيسية ؟ على أية حال لم يمض وقت طويل حتى تمكنت معادلات ماكسويل من اعطاء تفسيرات لجميع أنواع القوانين البصرية ، بما فيها قوانين انكسار سرعة الضوء فى أوساط مختلفة وأشياء أخرى عديدة .

ولقد شعر الفيزيائيون بسعادة غامرة عندما تبينوا أن نموذج ماكسويل قد فسر القوانين الكهربية والمغناطيسية المعروفة ، وزادت سعادتهم عندما تبينوا أنها قد فسرت أيضا القوانين المتعلقة بعلم البصريات ، أخيرا تجلت القوة الهائلة للنموذج الجديد فى قدرته على التنبؤ وعلى صياغة قوانين امبيريقية ( تجريبية ) لم تكن معروفة من قبل .

وكان الدليل الأول على ذلك هو ذلك الدليل الذى أمدنا به الفيزيائى الالمانى هنريتش هرتز " Heinrich Hertz " ففى حوالى سنة ١٨٩٠ بدأ تجاربه الشهيرة ليرى ما إذا كانت الموجات الكهرومغناطيسية ذات التردد المنخفض يمكن أن تنتج وتشاهد فى المعمل وحيث أن الضوء هو ذبذبة وانتشار كهرومغناطيسى لموجات ذات تردد عال جدا ، إلا أن قوانين ماكسويل جعلت من الممكن لمثل هذه الموجات أن يكون لها أى تردد . ولقد افضت تجارب هرتز إلى اكتشافه الذى سمى فى بادئ الأمر موجات هرتز ، ويطلق عليه الآن اسم موجات الراديو . ولقد استطاع هرتز

أن ينقل هذه الموجات من ذبذبة إلى أخرى . فى البداية كانت المسافة قصيرة ـ قليل من السنتيمترات ثم اصبحت مترا أو أكثر ـ أما اليوم فإن محطة ارسال الراديو ثبت موجاتها على مسافة عديد من آلاف من الاميال .

وكان اكتشاف موجات الراديو ، بداية فقط لاشتقاق قوانين جديدة من نموذج ماكسويل النظرى . فقد تم اكتشاف اشعة × ، وكان يعتقد من قبل انها جسيمات ذات سرعة عالية جدا ، وقوة خارقة ، إلا أن الفيزيائيين اكتشفوا أنها مثل الضوء وموجات الراديو ، مجرد موجات كهرومغناطيسية ، وإنما ذات تردد عال جدا ، أعلى بكثير من تردد ضوء منظور . وكان هذا أيضا تأييدا أخيرا ، فلأن القوانين التى تتعامل مع أشعة × كانت مشتقة من معادلات المجال الأساسية لماكسويل فقد ثبت أن أشعة × ما هى إلا موجات تتردد لمدى معين من خلال تردد حزمة أكبر بكثير من أشعة جاما . وإذا كانت أشعة × تستخدم اليوم فى الطب فما هى ببساطة إلا أشعة جاما وإنما ذات تردد معين . كان كل هذا ما أمكن التنبؤ به على أساس نموذج لماكسويل فقد أدت قوانينه النظرية بالاضافة إلى قواعد المطابقة إلى تنوع ضخم فى القوانين التجريبية الحديثة .

وهناك تنوع كبير فى المجالات التى تشترك كلها فى التأييد التجريبى ، وبصفة خاصة فى ذلك التأييد القوى الشامل لنظرية ماكسويل . فلقد تطورت الفروع المختلفة للفيزياء فى الأصل لأسباب عملية إذ اعتمدت التقسيمات المختلفة فى معظم الاحيان على اعضائنا الحسية المختلفة . فلأن عيوننا تدرك الضوء واللون ادراكا حسيا ، اطلقنا على مثل هذه الظواهر اسم البصريات ، ولأن آذاننا تسمع الاصوات ، أطلقنا على هذا الفرع من الفيزياء اسم السمعيات ، ولأن اجسامنا تشعر بالحرارة اخترعنا نظرية فى الحرارة . وبات من المفيد أن نضع آلات بسيطة تعتمد على حركة الاجسام ، وأطلقنا عليها اسم الميكانيكا . كما ان هناك ظواهر أخرى ، مثل الظواهر الكهربية والمغناطيسية ، لايمكننا ادراكها ادراكا حسيا مباشرا ، وإنما يمكننا رصد مؤثراتها .

وفى تاريخ الفيزياء تتحقق دائما قفزة إلى الأمام ، وذلك عندما يصبح فى الامكان تفسير فرع من الفيزياء من فرع آخر . فالسمعيات على سبيل المثال ، وجد أنها ليست سوى جزء مـن الميكانيكا ، لأن موجات الصوت ببساطة لها خاصية المرونة فى الجوامد والسوائل والغازات . وكان حديثنا من قبل يدور حول كيفية تفسير قوانين الغازات بميكانيكا حركة الجزيئات . وكانت

نظرية ماكسويل أيضا قفزة كبرى نحو توحيد الفيزياء . فلقد وجد أن البصريات ماهى إلا جزء من النظرية الاليكترومغناطيسية . ولقد تبلورت ببطء فكرة امكان توحيد الفيزياء - فى يوم ما - فى نظرية واحدة كاملة . بيد أننا فى العصر الحالى نواجه بفجوة واسعة بين الاليكترومغناطيسية من جانب والجاذبية من جانب آخر . ولقد بذل اينشتين محاولات متعددة لتطوير نظرية المجال الموحد ، تلك النظرية التى يمكن أن تقلل من هذه الفجوة ، كما بذل هيزنبرج وآخرون محاولات شبيهة بذلك فى السنوات الأخيرة بيد أنه مع ذلك لم يتم التوصل إلى نظرية مرضية تماما فى هذا الشأن .

وكانت الفيزياء فى الأصل ماكروفيزياء تخضع للوصف ، وتشتمل على عدد ضخم من القوانين التجريبية التى لم يكن بينها روابط واضحة . وفى بداية أى علم ربما يكون العلماء فخورين جدا بما لديهم من مئات القوانين المكتشفة ولكن سرعان ما ينتابهم القلق من كثرة هذه القوانين التى تشبه تكاثر النبات ، فيسعون جادين إلى البحث عن مبادئ منظمة أو موحدة لها . وفى القرن التاسع عشر احتدم الجدال حول مسألة المبادئ المنظمة - وشعر البعض أن العلم فى حاجة إلى مثل هذه المبادئ وإلا أصبح العلم مجرد وصف بسيط للطبيعة وليس تفسيرا حقيقيا لها . واعتقد آخرون أن المسألة يحوطها المخاطر ، لأن المبادئ المنظمة ، تجرنا إلى براثن الميتافيزيقا . لذلك حصروا مهمة العالم فى مجرد وصف أو اكتشاف كيف تحدث الظواهر الطبيعية ، لا لماذا تحدث .

واليوم لايسعنا إلا أن نبتسم قليلا من هذا الجدل الذى كان محتدما بين انصار الوصف مقابل التفسير . وذلك لأن كل فريق منهما كان لديه ما يقوله ، ولكن الطريقة التى طرحوا بها المشكلة للنقاش كانت عقيمة . والواقع أنه ليس ثمة تعارض حقيقى بين الوصف والتفسير . فإذا أخذنا الوصف بمعناه الضيق أى باعتباره مجرد وصف لما فعله عالم معين فى يوم معين مع مواد معينة ، لكان المناوئون لمجرد الوصف على صواب تماما فى مطلبهم لما هو أبعد من ذلك التفسير الحقيقى . ولكننا اليوم ننظر إلى الوصف بالمعنى الواسع ، أى بمعنى وضع الظواهر فى سياق القوانين الأكثر عمومية ، ومن ثم نحصل على نموذج للتفسير لايخرج عن نطاق الظواهر وبالمثل إذا كان المعارضون للتفسير يقصدون التفسير الميتافيزيقى الذى لاينهض على اجراءات تجريبية لكانوا أيضا على صواب فى اصرارهم على أن العلم لايهتم إلا بالوصف . إذن لكل جانب وجهة نظر صحيحة ، ولكل من الوصف والتفسير اسهامات ضرورية للعلم .

إن الاسهامات الأولى فى التفسير وهى تلك التى ابتدعها الفلاسفة الطبيعيون الايونيون ،

كانت بالتأكيد ميتافيزيقية ، فالعالم كله نار أو كله ماء ، أو كله يتغير . ويمكن النظر إلى تلك الاسهامات المبكرة في التفسير العلمي بطريقتين مختلفتين ، يمكننا أن نقول : " هذا ليس علما ، وإنما هو ميتافيزيقية خالصة . فليس ثمة امكانية لاثبات أى شئ ، وليس ثمة قواعد للمطابقة تساعدنا على ربط النظرية بظواهر يمكن اخضاعها للملاحظة " . ويمكننا أن نقول من ناحية أخرى : " هذه النظريات الايونية ليست علما بالتأكيد وإنما هى على الأقل مجرد تخيلات تصورية لنظريات . ومن ثم فهى ارهاصات أولى لعلم بدائى .

وعلينا أن نتذكر دائما أن تاريخ العلم ، والتاريخ السيكولوجى للعالم المبدع ، يؤكدان على أهمية الخيال . لأن النظرية غالبا ما تظهر فى البداية كنوع من الخيال ، ذلك الخيال الذى يأتى للعالم على شكل الهام قبل أن يتمكن من اكتشاف قواعد المطابقة التى تساعده على اثبات نظريته . وعندما قال ديموقريطس أن كل شئ يتكون من ذرات ، لم يكن لديه بالتأكيد أدنى دليل تجريبى على صحة نظريته ، ومع ذلك كانت لديه عبقرية فذة ، وفراسة عظيمة . ذلك لأنه بعد مضى أكثر من ألفى سنة أمكن اثبات ما تخيله . ولهذا السبب لاينبغى أن نتهور ونعارض أى خيال توقعى لنظرية ما ، بشرط أن يكون فى الامكان اختباره فى زمن مستقبلى ما . والواقع أننا نقف على أرض صلبة ولكن إذا كنا نتوخى الحذر حقيقة فلا يمكن أن يدعى الفرض أنه علمى إلا إذا كانت هناك امكانية لاختباره . وليس المطلوب اثباته حتى يصبح فرضا ، وإنما المطلوب أن تكون ثمة قواعد مطابقة تسمح ، ولو مبدئيا ، بأن تكون لدينا وسائل لاثبات أو عدم اثبات نظرية ما . وربما يكون من الصعوبة البالغة أن ينظر إلى التجارب على أساس أنها صالحة لاختبار نظرية ، لأن نظريات المجال الموحد المختلفة التى افترضت فى السنوات الماضية تفترض هذه الصعوبة ولكن مع ذلك لابد من افتراض امكانها من حيث المبدأ ، وإلا كانت صفة العلمية التى تتصف بها النظرية غير ذات معنى . وعلى أية حال عندما تقترح نظرية لأول مرة ، لاينبغى أن نطلب منها أكثر من ذلك .

والحقيقة أن تطور العلم من الفلسفة القديمة ، كان عملية متدرجة تمت خطوة خطوة . فلقد كان لدى الفلاسفة الايونيين معظم النظريات البدائية ، ثم اصبح تفكير ارسطو أكثر وضوحا ، ويقف على أرض علمية أكثر صلابة ، ولأنه أجرى تجارب ، فقد ادرك اهميتها ، على الرغم من أنه من نواح أخرى كان قبليا " An Opriorist " ، وكان هذا بداية العلم . ولكنه لم يكن كذلك حتى عصر جاليليو جاليلى " Galileo Galilei " حوالى عام ١٩٠٠ ، فقد تأكدت اهمية المنهج التجريبى وأصبح مفضلا على التدليل القبلى لظواهر الطبيعة . وعلى الرغم من أن العديد من

مفاهيم جاليليو النظرية قد سبق ذكرها من قبل ، إلا أنه كان رائدا بحق فى وضع الفيزياء النظرية على أساس تجريبى قوى ومتين . ولأول مرة فى تاريخ العلم تقدم فيزياء نيوتن ( حوالى سنة ١٦٧٠ ) نظرية منهجية شاملة تتعرض لظواهر لاتخضع للملاحظة ، وتصاغ فى مفاهيم نظرية : القوة الكلية للجاذبية ، مفهوم الكتلة العام ، الخواص النظرية لأشعة الضوء ، وهكذا . ولقد كانت نظريته فى الجاذبية عمومية جدا ، فقد قررت أن ثمة قوة بين أى جسمين ، صغرا أو كبرا ، تتناسب مع مربع المسافة بينهما . وعلى الرغم من أن هذه النظرية قد ذكرت قبل نيوتن ، إلا أنها لم تقدم تفسيرا يوضح انطباقها على كل الظواهر ، من سقوط الحجر إلى حركات الكواكب حول الشمس .

ومن السهل جدا أن نلاحظ اليوم كم كان الأمر غريبا ألا يتمكن أى شخص قبل نيوتن من اكتشاف أن نفس القوة هى التى تسبب سقوط التفاحة ، ودوران القمر حول الأرض . إذ لم يحدث لأى شخص على الارجح أن فكر فى هذا قبله . ولايرجع ذلك إلى أن المسألة كانت من الصعوبة بحيث لم تجد من يجيب عنها ، ولكن لأن أحدا لم يسأل السؤال . وهذه نقطة حيوية جدا ، لم يسأل أحد " ماهى العلاقة التى تنعقد بين القوى فتجعل الاجسام السماوية ترتبط كل منها بالأخرى ، وما هى القوى الأرضية التى تسبب سقوط الاجسام على الأرض ؟ " . بل إن الحديث عما هو " أرضى " و " سماوى " وجعلهما شيئا واحدا كان مستبعدا . فقد كانت الطبيعة منقسمة إلى قسمين أو منطقتين مختلفتين بشكل أساسى ، وتتجلى عبقرية نيوتن الفذة فى الافلات من هذا التقسيم ، إذ قرر عدم وجود مثل هذا التصدع فى الطبيعة ، وأن الطبيعة واحدة ، والعالم واحد . ولأن قانون نيوتن العام للجاذبية كان قانونا نظريا ، فقد فسر منذ اللحظة الأولى سقوط التفاحة ، وقوانين كبلر فى حركات الكواكب . وكانت المغامرة جريئة إلى أبعد حد ، ذلك لأن عصر نيوتن لم يكن مهيئا للتفكير فى مثل هذه النظريات العامة .

وفيما بعد ، وعن طريق قواعد المطابقة ، اكتشف العلماء كيفية تحديد الاجسام الفلكية . كما أن نظرية نيوتن كانت قد ذكرت أننا إذا وضعنا تفاحتين جنبا إلى جنب على منضدة فإن كلا منهما تجذب الأخرى . ولايعنى هذا أن كلا منهما تتحرك صوب الأخرى ، وذلك لأن القوة الجاذبة ضئيلة جدا بينما الاحتكاك على المنضدة كبير جدا . إلا أن الفيزيائيين نجحوا أخيرا فى قياس القوى الجاذبية الفعلية بين جسمين فى المعمل واستخدموا لهذا الغرض الميزان الالتوائى " A torsion Balance " الذى يتكون من قضيب ، على كل طرف من طرفيه كرة معدنية وهو معلق من مركزه بسلك طويل مربوط فى سقف عال ( وإذا كان السلك أكثر طولا وأقل

سمكا ، تحرك القضيب بسهولة أكثر ) وبالفعل لم يستقر القضيب أبدا بشكل مطلق ، وإنما كان يتذبذب قليلا ، ولذلك كان فى الامكان تعيين متوسط ذبذبته . وبعد تحديد متوسط موضعه بدقة ، احضروا كوما كبيرا من قوالب الرصاص ووضعوه فى ترتيب بالقرب من القضيب ( ولقد استخدم الرصاص بسبب جاذبيته الكبيرة نسبيا ، وبرغم جاذبية الذهب الأعلى ، إلا أن قوالبه أكثر تكلفة بكثير ) ، ولقد وجدوا أن متوسط ذبذبة القضيب قد تغيرت بشكل طفيف ، فقد مالت الكرة التى على طرف القضيب ، ناحية قوالب الرصاص ، وعلى الرغم من أن الميل كان كسرا من المليمتر فقط ، إلا أنه كان كافيا لتقديم ملاحظة أولية عن التأثير الجاذبى بين جسمين فى معمل ـ ذلك التأثير الذى كانت نظرية نيوتن فى الجاذبية قد تنبأت به .

ولقد كان معروفا قبل نيوتن أن التفاح يسقط على الأرض ، وأن القمر يدور حول الأرض ، ولكن لم يكن أحد قبله قد تنبأ بنتيجة تجربة الميزان الالتوائى . ويعد هذا مثالا تقليديا عن قوة النظرية فى التنبؤ بظاهرة جديدة لم تلحظ من قبل .

**هوامش :**

(١) ك هى الكتلة الماكروسكوبية ( الكبيرة ) التى تخضع للملاحظة ، أما كَ الكتلة الميكروسكوبية ( الدقيقة ) التى لاتخضع للملاحظة . ( المترجم ) .

## الفصل السادس والعشرون

# جملة رامسى

تشهد هذه الأعوام تحليلات مكثفة للنظرية العلمية وتستخدم النظرية العلمية هنا بمعنى المصادرات النظرية فى علاقتها بقواعد المطابقة ، والتى ترتبط بالحدود النظرية والخاضعة للملاحظة ـ ولقد ناقشها فلاسفة العلم ، بيد أن الكثير من هذه المناقشات لحداثتها ، لم تنشر بعد . وفى هذا الفصل سوف نعرض لأطروحة هامة فى هذا الموضوع ، ترجع إلى الورقة البسيطة المعروفة التى كتبها المنطقى والاقتصادى الكمبردجى فرانك بلامبتون رامسى " Frank Plumpton Ramsey " .

ولقد توفى رامسى عام ١٩٣٠ عن عمر يناهز الستة والعشرين عاما ، ولم يعش طويلا حتى يكمل كتابا ، ولكن بعد وفاته جمعت أوراقه وأعدها للنشر ريتشارد بيفان بريثويت " Richard Bevan Brathemaite " ، ثم نشرها فى عام ١٩٣١ تحت عنوان " اسس الرياضيات " The Foundations of Mathematics " . وفى هذا الكتاب تظهر ورقة صغيرة بعنـــوان " نظريات " " Theories " . ولم تلق هذه الورقة ما تستحقه من اهتمام . وربما يكون ذلك راجعا إلى أن عنوان الكتاب قد اجتذب القراء المهتمين فقط بالاسس المنطقية للرياضيات . ومن ثم فإن الاوراق الأخرى الهامة فى الكتاب ، ومنها ورقة نظريات ، إتجه إلى اهمالها .

والحقيقة أن رامسى قد تحير كثيرا عندما تبين أن الحدود النظرية ـ حدود الموضوعـــات ، الخواص ، القوى ، الحوادث الوصفية فى نظرية ـ ليس لها معنى ، فى حين أن الحدود التى تخضع للملاحظة ـ " حديد " " قضيب " ، ساخن " و " احمر " لها معنى كامل . فكيف إذن يكون للحد النظرى معنى ؟ لاشك أن كل شخص يوافق على أن معناه يشتق من سياق النظرية . " فالمورثة " مثلا يشتق معناها من النظرية الوراثية . كما أن الاليكترون يفسر بمسلمات الفيزياء الجسيمية ولكننا نواجه هنا بالعديد من المسائل المضطربة المشوشة ، مثل كيف يمكن تحديد المعنى الامبيريقى ( التجريبى ) للحد النظرى وماذا تخبرنا نظرية معينة عن العالم الفعلى ؟ وهل تصف

النظرية بنية العالم الواقعى ، أم أنها مجرد استنباط اصطناعى محض يستهدف اضفاء نوع من الانتظام فى خضم عدد هائل من التجارب بنفس الطريقة التى تتبع فى نظام فى الحسابات ، وهى تلك الطريقة التى عن طريقها يمكننا تسجيل انتظام المعاملات المالية الثابتة ؟ وهل يجوز القول أن الاليكترون " يوجد " مثلما يوجد " قضيب الحديد " ؟

الحقيقة أن هناك اجراءات بسيطة ومباشرة لقياس خواص القضيب ، فيمكننا مثلا تحديد كتلته ووزنه بدرجة عالية من الدقة ، كما يمكننا قياس اطوال موجة ضوء منبعثة من سطح قضيب من الحديد الساخن ، ونعرف بدقة ما نعنيه عندما نقول أن قضيب الحديد هذا " احمر " أما إذا تعاملنا مع خواص كيانات نظرية ، مثل " دوران " جسيم أولى ، فاننا نواجه على الفور باجراءات معقدة وغير مباشرة ، لا لشئ إلا لتحديد المعنى التجريبى للحد " دوران " . فلابد أولا أن نقدم " الدوران " فى سياق نظرية محكمة فى ميكانيكا الكم ، كما ينبغى أن ترتبط النظرية بملاحظات معملية عن طريق مجموعة أخرى معقدة من مصادرات قواعد المطابقة . بالاختصار نجد أن الدوران غير مدعم تجريبيا بطريقة بسيطة ومباشرة كما هو الحال مع " احمرار " قضيب الحديد الساخن . لأننا نضطر إلى التساؤل : ماهى بالضبط حالتها الادراكية " ؟ وكيف يمكن تمييز الحدود النظرية - التى ينبغى أن ترتبط بطريقة ما بالعالم الواقعى وبموضوع الاختبار الامبيريقى - عن تلك الحدود الميتافيزيقية التى غالبا ما ينظر إليها فى الفلسفة التقليدية بوصفها حدودا خالية من المعنى الامبيريقى ؟ وأيضا كيف يمكن أن نبرر حق العالم فى الحديث عن مفاهيم نظرية دون أن نبرر فى نفس الوقت حقق الفيلسوف فى أن يستخدم حدودا ميتافيزيقية ؟

وفى محاولة لتلمس اجابات عن هذه الأسئلة المحيرة ، تقدم رامسى باقتراح غريب ومفزع فى نفس الوقت . فقد اقترح أن يستبدل النظام الموحد للمصادرات النظرية والمطابقة بما يطلق عليه اليوم اسم " جملة رامسى المتعلقة بالنظرية " ، وفى جملة رامسى - التى تكافئ المصادرات النظرية - لاتستخدم الحدود النظرية على الاطلاق . وبكلمات أخرى ، نحيت جانبا المسائل المحيرة ، وذلك عن طريق استبعاد الحدود التى نشأت منها هذه المسائل .

هب أننا وجهنا اهتمامنا إلى نظرية تحتوى على " ن " من الحدود النظرية : " ت١ " ، " ت٢ " ، ت٣ ... ت ن " . ولقد تم تقديم هذه الحدود عن طريق مصادرات النظرية ، وهى مرتبطة بحدود خاضعة للملاحظة بشكل مباشر عن طريق قواعد مطابقة النظرية . وفى قواعد المطابقة هذه تستخدم الحدود الخاضعة للملاحظة م : " و١ " ، " و٢ " ، " و٣ " .. " وم " . أما

النظرية فى حد ذاتها فهى التى تربط جميع المصادرات النظرية بجميع المصادرات المطابقة ، ومن ثم فإن عبارة كاملة للنظرية سوف تحتوى على مجموعات مرتبطة بحدود ت و و : ت١ ، ت٢ ... ت ن ، و١ ، و٢ ... ، وم . وفى هذه الجملة ـ الجملة الكاملة للنظرية ـ اقترح رامسى أن نحل محل الحدود النظرية ، المتغيرات المطابقة : " ط١ " ، " ط٢ " ... " ط ن " . وهى التى أطلق عليها المنطقيون اسم " الاسوار الوجودية " ، ( ط١ ) ، ( ط٢ ) ... ( ط ن ) . ولقد اضيفت هذه الاسوار الوجودية ، بمتغيراتها ـ ط إلى الصياغة السابقة ، فكونت جملة جديدة اطلق عليها اسم " جملة رامسى " .

ولكى يتضح لنا بشكل كامل كيف يمكننا تطوير هذه النموذج ، افترض المثال التالى : لنأخذ الرمز " جز " ليشير إلى فئة الجزيئات " Molecules " ، أما الجزئ الواحد فاننا نطلق عليه اسم " عنصر الجزئ " . وبالمثل يشير " هايجز " إلى فئة جزيئات الهيدروجين ، وجزئ الهيدروجين الواحد إلى " عنصر الهانجز " . ولأن من المفترض أن الحدث الزمكانى كان نظاما ثابتا ، فانه يمكننا أن نأتى بنقطة زمكانية عن طريق أحداثياتها الأربع م ، ن ، هـ ، ز . فإذا أخذنا الرمز " ح " للاشارة إلى مفهوم درجة الحرارة ، إذن لكانت " درجة الحرارة " الخالصة للجسم ب فى الزمن ز تساوى ٥٠٠ " ويمكن أن تكتب على هذا النحو " ح ( ب ، ز ) = ٥٠٠° ، وهكذا تم التعبير عن درجة الحرارة بوصفها علاقة تشتمل على جسم ، ونقطة من ( الزمن ، وعدد . كذلك يمكن أن يكتب " ضغط الجسم ب فى الزمن ز " على هذا النحو " ض ب ، ز ) " وأيضا إذا كان مفهوم الكتلة يمثله الرمز " ك " ، وكانت " كتلة الجسم ب تساوى ١٥٠ جراما ، فإنها تكتب هكذا " ك (ب) = ١٥٠ " ، وتصبح الكتلة هنا علاقة بين جسم وعدد . أما إذا كان الرمز " س " يمثل سرعة جسم ما ( ربما كان جسما كبيرا أو مجهاريا ) ، فان " س ( ب ، ز ) = ( ع١ ، ع٢ ، ع٣ ) حيث يشير الجانب الأيسر من المعادلة إلى ثلاثة أضعاف الاعداد الحقيقية أعنى مركبات السرعة فى الاتجاهات م ، ن ، هـ . ومن ثم تصبح س علاقة بين جسم ، واحداثية زمان ، وثلاثة أضعاف اعداد حقيقية .

وبصفة عامة يمكننا الحديث عن لغة نظرية تحتوى على " حدود فئة " ( مثل حدود الاجسام الكبيرة ، والاجسام المجهرية والحوادث ) ، وحدود علاقة " ( مثل حدود الاجسام الفيزيائية المختلفة ) .

افترض النظرية ن ق ، وترمز " ن " إلى المصادرات النظرية ، أما ق فإنها ترمز إلى

مصادرات قواعد المطابقة . وهذه النظرية تشتمل على بعض قوانين النظرية الحركية للغازات ، وهى قوانين متعلقة بحركات الجزيئات ، وسرعاتها واصطداماتها ، وهكذا . أننا نعرف أن هناك قوانين عامة لأى غاز كما أن هناك قوانين خاصة لغاز الهيدروجين وبالإضافة إلى ذلك هناك قوانين لنظرية الاجسام الغازية تتعلق بالحرارة والضغط والكتلة الكلية للجسم الغازى . افترض أن المصادرات النظرية للنظرية ن ق تحتوى على جميع الحدود التى ذكرناها آنفا . ولدواعى الاختصار ، فاننا نكتب الحدود النظرية فقط مع الاشارة إلى الروابط النظرية بالنقاط :

( ن ) ... جز ... هايجز .. ح ... ض .. ك .. س ...

ولكى نستكمل ترميز النظرية ن ق ، نضع فى الاعتبار الحدود النظرية لبعض مصادرات قواعد المطابقة وليس من الضرورى كلها . وربما تصلح مصادرات ـ ق إلى أن تكون قواعد اجرائية لقياس درجة الحرارة والضغط . كما أن مصادرات ـ ق سوف تحتوى على الحدود النظرية " ح " و " ض " تماما كما تحتوى على الحدود الخاضعة للملاحظة " و١ " ، " و٢ " " وم " . ويمكن التعبير عن مصادرات ـ ق بطريقة موجزة على النحو التالى : ـ

" ق " ... ح ... و١ ... و٢ ... و٣ ... ض ... و٤ ... وم ...

كما يمكن الاشارة إلى النظرية الكاملة بالصياغة التالية :

( ن ق ) ... جز ... هايجز ... ح ... ض ... ك ...

س .. ح .. و١ ... و٢ ... و٣ ...

ض ... و٤ ... وم .

ولكى نحول النظرية ن ق إلى جملتها الرامسية ، فإن ذلك يتطلب خطوتين : الأولى أن نحل الفئة ومتغيرات العلاقة المختارة بعناية ، محل جميع الحدود النظرية ( حدود الفئة ، وحدود العلاقة ) . فإذا حدث " جز " مثلا فى النظرية ، فاننا نستبدله بالمتغيرات " ق١ " ، وإذا حدث " هايجز " فى النظرية فاننا نستبدله بفئة متغيرة أخرى مثل " ق٢ " . أما حد العلاقة " ح " ( الذى يعبر عن جزئ النظرية ن ، ق ) فاننا نستبدله بعلاقة متغيرة ، مثل " ل١ " ، وبالمثل نستبدل حدود العلاقات " ض " و " ك " و " س " بعلاقات ثلاث أخرى متغيرة " ل٢ " و" ل٣ " و " ل٤ " فنصل إلى النتيجة النهائية التى يشار إليها على هذا النحو :

... ق١ ... ق٢ ... ل١ ... ل٢ ... ل٣ ... ل٤ ... ،

... ل١ ... و١ ... و٢ ... و٣ ... ل٢ ...

و٤ ... وم ...

وهذه النتيجة ( التى ينبغى أن ندوّنها بشكل كامل وليس بشكل مختصر كما فعلنا باستخدامنا للنقاط ) لم تصبح جملة بعد ( كما هو الحال فى ن ، ق ، أو ن ق ) وإنما هى صياغة جملة مفتوحة أو هى ـ ، كما يطلق عليها احيانا ـ صورة جملة أو دالة جملة .

والخطوة الثانية لتحويل صياغة الجملة المفتوحة إلى جملة رامسى

ر ن ق (١) تتطلب ستة اسوار وجودية لكل واحدة منها ستة متغيرات :

(ر ق ن ) ( ق١ ∃) ( ق٢ ∃) ( ل١ ) ( ل٢ ∃) ( ل٣ ∃) ( ل٤ ∃)

{ .. ق١ .. ق٢ .. ل١ .. ل٢ ... ل٣ ... ل٤ ... ، ... ل١ ...

و١ ... و٢ ... و٣ ... ل٢ ... و٤ ... وم ... }

وبمساعدة السور الوجودى وهكذا تقرر جملة رامسى أن هناك ( على الأقل ) الفئة الواحدة ق ١ والفئة الواحدة ق٢ ، والعلاقة الواحدة ل١ ، والعلاقة الواحدة ل٢ ، والواحدة ل٣ ، والواحدة ل٤ ، مثال ذلك : ـ

(١) إن هاتين الفئتين والعلاقات الست مرتبط كل منها بالأخرى بطريقة معينة ( أعنى كمحدد فى الثانى أو جزء من صياغة ق ) ،

(٢) ترتبط العلاقتان ل١ ، ل٢ مع كيانات م الخاضعة للملاحظة ، و١ ... وم بطريقة معينة أيضا ( أعنى كمحدد فى الثانى أو جزء من صياغة ق ) .

والشئ الجديد بالملاحظة هنا هو أن الحدود النظرية قد اختفت فى جملة رامسى وحلت محلها متغيرات . بيد أن المتغير " ق١ " لايشير إلى أى فئة نوعية ، وإنما ينصب التقرير فقط على أن ثمة فئة واحدة على الأقل ، وأن هذه الفئة تحقق شروطا معينة . كما أن معنى جملة رامسى لايتغير بأى حال من الاحوال حتى إذا تغيرت المتغيرات بشكل تحكمى . فعلى سبيل المثال يمكن استبدال الرمزين " ق١ " و " ق٢ " بمتغيرين آخرين مثل " هـ ١ " و " هـ ٢ " ويظل معنى الجملة واحدا .

ويتضح من ذلك أن جملة رامسى ليست سوى طريقة أخرى غير مباشرة ، للتعبير عن النظرية الأصلية . فمن السهل أن نبين إن أية قضية تتحدث عن عالم حقيقى لاتشتمل على حدود نظرية ـ ذلك لأن أية قضية يمكن تأييدها امبيريقيا ـ وإنما هى تستتبع من النظرية التى سوف تستتبع بدورها من جملة رامسى . وبكلمات أخرى فإن جملة رامسى لها نفس القوة التفسيرية والتنبؤية التى تكمن فى نسق المصادرات الأصلى . وكان رامسى هو أول من تبصر بهذا . وكان لتبصره

هذا اهمية كبرى لم ينتبه إليها إلا قليل من زملائه . وبعد بريثويت واحدا من هؤلاء القلة ، فقد كان صديقا لرامسى وهو الذى اهتم بنشر أوراقه . ففى كتابة " التفسير العلمى " الذى صدر فى سنة ١٩٥٣ يناقش بريثويت اطروحة رامسى مؤكدا اهميتها .

والحقيقة أننا يمكننا الآن تجنب جميع المسائل الميتافيزيقية المزعجة التى تشوه الصياغة الأصلية للنظريات ، كما يمكننا تقديم تبسيط أكثر فى صياغتها . فمن قبل كان لدينا حدود نظرية " كالاليكترون " مثلا ، وكان الاليكترون يعد " واقعة " غامضة " لأنه لايخضع للملاحظة فى العالم الخارجى . وأيا كان المعنى الامبيريقى الجزئى الذى نحاول به تقوية الحدود النظرية ، فلابد أن يتم ذلك عن طريق اجراء مباشر يذكر فيه نسق المصادرات النظرية أيضا عن طريق ارتباط هذه المصادرات بملاحظات امبيريقية تعتمد على قواعد المطابقة . أما طريقة رامسى فى الحديث عن العالم الخارجى ، فإن الحد " اليكترون " يختفى ، ولايعنى هذا أن الاليكترونات تختفى بالفعل ، وإنما يعنى أن ما ينتمى إلى العالم الخارجى . والذى يرمز إليه باللفظ " اليكترون " هو الذى يختفى . كما تقرر جملة رامسى ـ وذلك من خلال أسوارها الوجودية ـ أن هناك شيئا ما فى العالم الخارجى ، وأن هذا الشئ له نفس الخواص التى يحددها الفيزيائيون للاليكترون . ولايهم هنا وجود هذا الشئ بالفعل ، وإنما الأمر لايتعدى اقتراح طريقة مختلفة للحديث عن هذا الشئ . فالسؤال " هل توجد اليكترونات ؟ " لايزعجنا ، أما السؤال ما هو المعنى الدقيق للحد " اليكترون " ؟ فإنه لاينشأ أصلا فى طريقة رامسى للحديث عن العالم إذ ليس من الضرورى أن نتساءل عن معنى " الاليكترون " لأن الحد نفسه لم يظهر فى لغة رامسى .

ومن الأهمية بمكان أن ندرك ـ وهذه النقطة لم يشدد عليها رامسى بشكل كاف ـ إن اطروحة رامسى لايمكن أن تعطى نظريات إلى اللغة الملاحظة ، إذ إن اللغة الملاحظة " ( بوصفها دائما حالة ) إنما تحتوى على حدود ملاحظة فقط ، وحدود أولية للمنطق والرياضيات . فالفيزياء الحديثة تتطلب رياضيات شديدة التعقيد وعالية المستوى . كما تتطلب نظرية النسبية هندسة لا تقليدية وحساب تفاضل وتكامل يعالج الكمية الممتدة ، كما تتطلب ميكانيكا الكم بالمثل مفاهيم رياضية . ولذلك لايمكن أن يقال إن جملة رامسى تعبر عن نظرية فيزيائية ، لأنها جملة فى لغة ملاحظة بسيطة . وفى لغة ملاحظة تعالج الكمية الممتدة . فهى ملاحظة لأنها لاتحتوى على حدود نظرية ، وهى تعالج الكمية الممتدة لأنها تشتمل على منطق متقدم ، معقد ينتظم فى الحقيقة كل الرياضيات .

هب أننا أردنا ، فى القسم المنطقى الخاص بهذه اللغـة الملاحظـة ، أن نحصـى السلسلـة د صفـر ، د١ ، د٢ .. والتى تمثل كيانات رياضية ، مثل أن :

(١) د صفر تشتمل على الاعداد الطبيعية ( . ، ١ ، ٢ ، .... ) .

(٢) بالنسبة لأى د ن ، فإن د ن + ١ تشتمل على جميع فئات العناصـر التـى تدخل فى د ن .

أما اللغة الممتدة فهى تشتمل على متغيرات لجميع أنواع تلك الكيانات ، مع قواعد منطقية مناسبة لاستخدامها . وفى رأيى تعد هذه اللغة كافية ، ليس فقط لصياغة كل نظريات الفيزياء الحالية ، وإنما أيضا لكل النظريات المستقبلية . وبالطبع ليس فى مقدورنا أن نتنبأ بأنواع الجسيمات أو الحقول أو التفاعلات ، أو المفاهيم الأخرى التى يمكن للفيزيائيين أن يدخلوها فى القرون التالية ـ ومع ذلك فاننى اعتقد إن مثل هذه المفاهيم النظرية ، وبصرف النظر عن كونها غير مألوفة ومعقدة ، يمكن صياغتها ـ عن طريق اقتراح رامسى ـ بنفس اللغة الملاحظة الممتدة التى تسود الآن ، والتى تشتمل على حدود ملاحظة مرتبطة بالمنطق والرياضيات المتقدمة .

ومن ناحية أخرى ، فإن رامسى لم يقصد بالتأكيد ـ ولا أحدا غيره يرى ذلك ـ أن يتخلى الفيزيائيون عن الحدود النظرية سواء فى احاديثهم أو كتاباتهم ، لأنهم إذا فعلوا ذلك لكانت عباراتهم شديدة التعقيد . فمن السهل مثلا أن نقول فى لغة معتادة إن كتلة شئ معين تساوى خمسـة جرامات . كما يمكن لشخص ما أن يقول ـ فى دلالة رمزية لنظرية وذلك قبل تحولها إلى جملة رامسى ـ إن كتلة شئ معين تساوى خمسة جرامات ، ويكتبها هكذا " كتلة (١٧) = ٥ . ومع ذلك ، ففى لغة رامسى لايظهر الحد النظرى " كتلة " وإنما يظهر فقط المتغير " ل٣ " ( كما هو مبين فى المثال السابق ) . إذن كيف يمكن ترجمة الجملة " كتلة (١٧) = ٥ " إلى لغة رامسى ؟ من الواضح إنها لن تكتب هكذا " ل٣ (١٧) = ٥ " ، لأن هذه ليست جملة . وإنما ينبغى أن تكون الصياغة مكتملة عن طريق افتراضات تخص العلاقة ل٣ ، وهى تلك التى سبق تعيينها فى جملة رامسى . ومن ناحية أخرى إذا اقتصرنا على انتقاء صياغات للمصادرة التى تحتوى ل٣ ، فإن ذلك لن يكون كافيا ، إذ أن جميع المصادرات مطلوبة . ومن ثم فإن ترجمة حتى هذه الجملة الموجزة إلى لغة رامسى تتطلب جملة طويلة للغاية تحتوى على صياغات تنطبق على جميع المصادرات النظرية ، وجميع المصادرات المطابقة بأسوارها الوجودية . وحتى إذا استخدمنا هذه الصورة الموجزة ، فسوف تكون الترجمة طويلة نوعا ما :

(ق١ ∃) ( ق٢ ∃) ... ( ل٣ ∃) ( ل٤ ∃) ( ... ق١ ... ق٢ ... ل١ ... ل٢ ... ل٣ ...

ل٤ ... ؛ ... ل١ ... و١ ... و٢ ... و٣ ... ل٢ ... و٤ ... وم ... ، ل٣ (١٧) = ٥ ) .

ويتضح من ذلك أنها لاتصلح لكى تعوض طريقة رامسى فى الحديث عن محاضرة عادية فى الفيزياء ، تستخدم حدودا نظرية . وإنما قصد رامسى منها مجرد التوضيح بأنها ممكنة فى صياغة أى نظرية تستخدم لغة لا تتطلب حدودا نظرية ، ولكن إن تقرر نفس الشئ بوصفها لغة مواضعية ( اصطلاحية ) .

وعندما نقول إنها " تقرر نفس الشئ " فاننا نعنى بذلك أنها تتعلق بجميع النتائج الملاحظة ، وهى لا تقرر بالطبع نفس الشئ تماما . وإنما تفترض اللغة السابقة أن حدودا نظرية مثل " اليكترون " و " كتلة " إنما تشير إلى شئ ما ، هو بوجه ما ، أكثر مما يمدنا به سياق النظرية نفسها . ولقد أطلق بعض الكتاب على هذا التعبير " المعنى الزائد " للحد . وعندما يوضع هذا المعنى الزائد فى الاعتبار لاتصبح اللغتان بالتأكيد متكافئتين . أما جملة رامسى فشأنها تعبر عن المضمون الذى يخضع للملاحظة بشكل كامل فى النظرية ـ وهنا تكمن بصيرة رامسى النفاذة ، لأن هذا المضمون الذى يخضع للملاحظة هو كل ما تحتاجه النظرية لكى تؤدى وظيفتها كنظرية أى لكى تفسر الوقائع المعروفة ، وتتنبأ بأخرى لم تعرف بعد .

وصحيح أن الفيزياتيين يجدون أن من المناسب الحديث بلغة مختصرة عن الحدود النظرية كقولنا " بروتون " و " اليكترون " و " نيوترون " ولكن إذا ما سئلوا عما إذا كانت الاليكترونات موجودة " بالفعل " لكانت اجاباتهم متعارضة وبعضهم مقتنع بطريقة رامسى فى التفكير فى مثل هذه الحدود . فهم يتهربون من مسألة الوجود هذه ، ويقررون أن ثمة حوادث تخضع للملاحظة فى غرف معينة ، ومن ثم يمكن وصفها عن طريق دوال رياضية معينة ، وذلك من خلال اطار نظام نظرى معين . ومن ثم فانهم فى الحقيقة لم يقرروا شيئا . فأن تسأل عما إذا كان يوجد بالفعل اليكترونات هو نفس الشئ ـ من وجهة نظر رامسى ـ الذى تسأل فيه عما إذا كانت فيزياء الكم صحيحة . فإذا كنا نحكم على فيزياء الكم بأن التجارب قد أقرتها ، فإن هذا يبرر لنا القول بأن ثمة حالات لأنواع معينة من الحوادث تسمى بلغة نظرية " اليكترونات " .

ويطلق أحيانا على وجهة النظر هذه ، الرؤية " الذرائعية " للنظريات وهى وثيقة الصلة بالموقف الذى دافع عنه كل من تشارلس بيرس ، وجون ديوى ، وبرجمايتين آخرين ، تماما كما دافع عنه العديد من فلاسفة العلم الآخرين . ومن وجهة النظر هذه لاتشير النظريات إلى

" واقعة " وإنما هى ببساطة أدوات لغوية لتنظيم ظواهر التجربة الملاحظة فى نموذج ما ، يكون من وظيفته التنبؤ بشكل فعال بملاحظات جديدة . ومن ثم فإن الحدود النظرية تصبح رموزا ملائمة . كما أن المصادرات المشتملة عليها تصبح صائبة لأنها نافعة وليس لأنها " صحيحة " فى حد ذاتها . وينبغى ألا يكون لها معنى زائد خلف الطريقة التى تؤدى بها وظيفتها فى النسق . فلا معنى أن نتكلم عن اليكترون " حقيقى " أو مجال مغناطيسى " حقيقى " .

أما وجهة النظر " الوضعية " أو " الواقعية " للنظريات " فانها تخالف وجهة النظر السابقة ( على الرغم مما بين هاتين المدرستين من اختلافات أحيانا ، ولكن ليس من الضرورى أن نخوض هنا فى مثل هذه الاختلافات ) . أنهما يدافعان عن هذه الأطروحة : من المناسب والمريح سيكلولوجيا أن نفكر فى الاليكترونات والمجالات المغناطيسية والموجات التجاذبية بوصفها كيانات واقعية ، حيث أن العلم يكشف عن خباياها أكثر فأكثر وبشكل ثابت . كما أنه ليس ثمة حد فاصل يفصل بين شئ يخضع للملاحظة كالتفاحة مثلا ، وبين شئ لا يخضع للملاحظة كالنيترون مثلا . فالامبيا لاترى بالعين المجردة ولكنها ترى من خلال مجهر مضئ ، كما أن الفيروس لايرى من خلال مجهر مضئ ، ولكن يمكن رؤية بنيته وبدقة متناهية من خلال مجهر اليكترونى ولايمكننا رؤية بروتون بهذه الطريقة المباشرة ، ولكن يمكن ملاحظة أثره من خلال غرفة معينة . فإذا كنا نسمح بالقول أن الامبيا شئ واقعى فليس هناك من سبب يدعونا إلى القول أن البروتون " غيرا واقعى " إذ أن اختلاف رؤيتنا لبنية الاليكترونات والجينات والاشياء الأخرى ، لايعنى عدم وجود شئ ما يكمن خلف كل ظاهرة لاتخضع للملاحظة ، وإنما يشير فقط إلى أن معرفتنا ببنية تلك الكيانات تزداد شيئا فشيئا .

كما أن المشايعين لوجهة النظر الوضعية ينبهوننا إلى أن الكيانات التى لاتخضع للملاحظة تنتقل عادة إلى مجال الملاحظة عندما تتطور أدوات الملاحظة وتصبح أكثر فعالية . ففى وقت من الاوقات كان " الفيروس " مجرد حد نظرى . ويصدق نفس الشئ على " الجزئ " لدرجة أن ايرنست ماخ كان يعارض التفكير فى الجزئ بوصفه شيئا موجودا ، فقد أعلن ذات مرة أنه " محض خيال لا قيمة له " واليوم أمكن تصوير الذرات فوتوغرافيا فى شبيكة بللورية عن طريق اطلاقها من الجسيمات الأولية ، وهذا يعنى أن الذرة نفسها اصبحت خاضعة للملاحظة . ويؤكد المدافعون عن وجهة النظر هذه أنك إذا قررت إن للذرة " وجودا " تكون قد تماما كما لو أنك قررت أن ثمة نجما بعيدا ، إذ أن الملاحظة هنا تقع على بقعة ضوء باهتة تظهر على لوح فوتوغرافى ممتد . ولاتوجد بالطبع طريقة مماثلة تساعدنا على ملاحظة الاليكترون . ومع ذلك

ليس ثمة سبب يدعونا إلى رفض وجوده . فعلى الرغم من أن القليل جدا هو الذى يعرف عن بنيته اليوم ، إلا أنه ربما يعرف عنه الشئ الكثير جدا فى الغد . ومن ثم فإن المدافعين عن وجهة النظر الوضعية يؤكدون أنك إذا تحدثت عن الاليكترون بوصفه شيئـــا موجودا ، فإنك تكون على صواب تماما . كما لو أنك تتحدث عن تفاح ومناضد وجماعات بوصفها أشياء موجودة .

ويتضح من ذلك أن ثمة اختلافا واضحا بين المعانى التى يقصدها الذرائعى وبين الوسائل التى يستعين بها الواقعى فى حديث كل منهما . ومن وجهة نظرى ـ التى لن أتمكن من عرضها بدقة هنا ـ أن التعارض بين الأطروحتين هو فى الحقيقة تعارض لغوى . فالمسألة هى ، أى طريقة فى الحديث تفضل فى ظل مجموعة معطاة من الظروف . فإن تقول عن نظرية ما أنها اداة يعول عليها ، ذلك معناه أن تخضع تنبؤات الحوادث الملاحظة للاثبات . وهو نفس الشئ تماما عندما تقول عن نظرية ما أنها صحيحة وأن الكيانات النظرية التى لاتخضع للملاحظة موجودة . ومن ثم نجد أنه ليس ثمة تعارض بين أطروحة الذرائعى ونظيره الواقعى . أو على الأقل ليس ثمة تعارض فيما يتعلق بالجوانب السابقة مثل التقريرات السالبة التى على هذا النحو ... .. ولكن لم تحتو النظرية على قضايا صادقة أو كاذبة ، كما أن الذرات والاليكترونات وما شابه ذلك ليس لها وجود بالفعل " .

**هامش :**

(*) الرمز " ر " إنما هو اختصار لاسم رامسى ، أما " ن ق " فإن " ن " تمثل الحدود النظرية ، و " ق " تمثل قواعد المطابقة فإذا أضفنا الاسوار الوجودية إليهما ـ كما سوف نرى ـ فإننا نحصل على جملة رامسى كاملة ـ ( المترجم ) .

## الفصل السابع والعشرون

# التحليلية فى لغة ملاحظة

إن واحدة من أقدم المشكلات وأكثرها دواما وانقساما فى تاريخ الفلسفة هى مشكلة الصدق التحليلى والصدق الواقعى . ولقد تم التعبير عن هذه المشكلة بوسائل عديدة مختلفة . فلقد تناولها كانط ، كما هو مبين فى الفصل الثامن عشر ، فى حدود ما أسماه القضايا " التحليلية " و " التركيبية " ، كما تناولها من قبل أولئك الذين تحدثوا عن الصدق " الضرورى " والصدق " الاتفاقى" .

ويعد فى رأيى ، التمييز الحاسم بين التحليلى ـ التركيبى ذو أهمية فائقة فى فلسفة العلم . فنظرية النسبية مثلا ، لم يكن مقدرا لها أن تشهد مثل هذا التطور ، إذا لم يدرك اينشتين أنه لايمكن تحديد بنية المكان ـ والزمان الفيزيائى بدون اختبارات فيزيائية . فلقد رأى بوضوح خط التقسيم الحاد الذى ينبغى الاحتفاظ به دائما فى الذهن ، بين الرياضة البحتة بأنماطها المتعددة التى تعالج الهندسات المتسقة منطقيا ، وبين الفيزياء التى يمكنها عن طريق التجربة والملاحظة فقط ، أن تحدد أى الهندسات يمكن تطبيقها ، بطريقة نافعة أكثر على العالم الفيزيائى . وبات التمييز بين الصدق التحليلى ( الذى يشتمل على الصدق المنطقى والرياضى ) وبين الصدق الواقعى ، ذا أهمية قصوى اليوم بالمثل فى نظرية الكم ، لأن الفيزيائيين اكتشفوا طبيعة الجسيمات الأولية ، وبحثوا لها عن نظرية مجال لربط ميكانيكا الكم بالنسبية وسوف نركز اهتمامنا فى هذا الفصل وما يليه ، على مسألة كيف يمكن أن نجرى على هذا التمييز القديم تحديدا دقيقا كاملا من خلال اللغة الصحيحة للعلم الحديث .

ومنذ عدة سنوات ، تبين أن من المفيد تقسيم حدود اللغة العلمية إلـــى ثلاث مجموعات رئيسية :

١ ـ حدود منطقية تشتمل على كل حدود الرياضيات البحتة .

٢ ـ حدود ملاحظة أو حدود ـ م .

٣ ـ حدود نظرية أو حدود ـ ن ( وتسمى فى بعض الاحيان " بناءات " ) .

صحيح أنه ليس ثمة حد قاطع يفرق بين حدود ـ م وحدود ـ ن ، كما سبق أن أكدنا فى فصول سابقة ، لأن اختيار خط مستقيم دقيق يعد عملا تعسفيا إلى حد ما . إلا أن التمييز من وجهة النظر العملية يكون عادة مفيدا وواضحا . لأن كل شخص سيوافق على أن الكلمات التى تقال عن الخواص مثل " أزرق " و " صلب " و " بارد " ، وعن العلاقات مثل " أدفأ " و " أثقل " و " انصع " تنتمى إلى حدود ـ م ، بينما تنتمى " الشحنة الكهربية " و " البروتون " و " المجال المغناطيسى " إلى حدود ـ ن . لأنها تشير إلى كيانات لايمكن رصدها بطريقة بسيطة ومباشرة نسبيا .

وبالنسبة للجمل فى لغة العلم هناك تقسيم ثلاثى مشابه : ـ

١ ـ جمل منطقية ، وهى تلك التى لاتحتوى على حدود وصفية .
٢ ـ جمل ملاحظة ، أو جمل ـ م ، وهى تلك التى تحتوى على حدود ـ م دون حدود ـ ن .
٣ ـ جمل نظرية ، أو جمل ـ ن وهى تلك التى تحتوى على حدود ـ ن .
وتنقسم بدورها إلى قسمين : ـ
أ ـ جمل مختلطة تحتوى على حدود كل من م ، ن ، و .
ب ـ جمل نظرية خالصة وتحتوى على حدود ـ ن دون حدود ـ م .

أما اللغة الكاملة للعلم ، ل ، فمن الملائم تقسيمها إلى قسمين ، يحتوى كل قسم منهما على المنطق التام ( أى الذى يشمل الرياضيات ) ، وهما يختلفان فقط من حيث عناصرهما الوصفية غير المنطقية .

١ ـ لغات ملاحظة ، أو لغة ـ م ( ل م ) ، وهى تلك التى تحتوى على الجمل المنطقية ، وجمل ـ م ، ولكن دون الحدود ـ ن .

٢ ـ اللغة النظرية ، أو لغة ـ ن ( ل ن ) ، وهى تلك التى تحتوى على الجمل المنطقية ، وجمل ـ ن ( مع أو بدون حدود ـ م بالاضافة إلى حدود ـ ن ) .

ويمكن تقديم الحدود ـ ن إلى لغة العلم عن طريق نظرية ، أما ن فهى تعتمد على نوعين من المصادرات : نظرية أو مصادرات ـ ن ، ومطابقة أو مصادرات ـ ط . كما أن مصادرات ـ ن ماهى إلا قوانين نظرية ، أو هى جمل ـ ن الخالصة ، أما مصادرات ـ ط ، التى هى قواعد

المطابقة ، فهى جمل مختلطة ، خليط من حدود ـ ن ، وحدود ـ م ، وهى تؤلف ما أطلق عليه كامبل اسم معجم وصل اللغات الملاحظة والنظرية ، كما سبق أن بينا . وما أطلق عليه رايشنباخ اسم التعريفات الاحداثية ، وما هو فى علم مصطلحات بريدجمان يسمى بالمصادرات الاجرائية أو القواعد الاجرائية .

وبهذه الخلفية ، علينا أن نعود إلى مشكلة التمييز بين الصدق التحليلى والواقعى فى لغة ملاحظة .

ولسوف نطلق على النوع الأول من الصدق التحليلى المصطلح ، صدق منطقى أو " صدق ـ ق " ، فتكون الجملة صادقة ـ ق إذا كانت صادقة من حيث صورتها ومعانى الحدود المنطقية المكونة منها . وعلى سبيل المثال ، الجملة " إذا لم يكن الاعزب رجلا سعيدا ، إذن لن يكون الرجل السعيد أعذب " . وهى صادقة ـ ق لأننا نتعرف على صدقها من معرفة معانيها وطرق استخدام الكلمات المنطقية " إذا " و " إذن " و " لا " و " يكون " . وحتى إذا لم نعرف معانى الالفاظ الوصفية " اعزب " و " سعيد " و " رجل " . تظل قضايا المنطق والرياضيات ( المبادئ والنظريات ) تنتمى إلى هذا النوع ، ( وذلك لأن الرياضة البحتة ) أمكن ردها إلى المنطق عن طريق فريجة ورسل ، وعلى الرغم من أن هناك بعض نقاط لهذا الرد لاتزال محل خلاف ، إلا أننا لن نناقش هذه المسألة هنا . )

ومن ناحية أخرى ، وكما أوضح ويلارد ، ف ، أو ـ كواين " Willard V. O. Quine " فإن لغة الملاحظة غنية فى الجمل التحليلية ومعناها أوسع بكثير من صدق ـ ق . ومن ثم لايمكن نعت هذه الجمل بالصدق أو الكذب إلا إذا فهمنا معانى الحدود الواقعية والمنطقية معا . ومثال كواين الشهير على ذلك هو " لايوجد أعزب ، متزوج . " ، فصدق هذه الجملة واضح كل الوضوح ، فهو ليس موضوعا لوقائع العالم العارضة ، ولكن لايمكن أن ينعت بالصدق بسبب صورته المنطقية فقط ، وإنما بالإضافة إلى معرفة معنى " لا " و " يكون " من الضرورى أن نعرف ما يعنيه اللفظ " أعزب " و " متزوج " . وفى هذه الحالة سوف يوافق كل فرد يتحدث الانجليزية على أن اللفظ " Bachelor " الذى هو " أعزب " له نفس المعنى الذى للجملة " رجل غير متزوج " ومرة أخرى ، تكون هذه المعانى مقبولة لأنها توضح أن الجملة صادقة ليس بسبب طبيعة العالم ، وإنما بسبب المعانى التى تحددها لغتنا للكلمات الموصوفة ، وليس من الضرورى حتى أن تفهم هذه المعانى فهما كاملا ، ولكن من الضرورى فقط أن نعرف أن معنى

كل لفظ منهما يضاد الآخر ، ذلك لأن الرجل لايمكن أن يتصف بأنه أعزب وغير متزوج فى نفس الوقت .

ولقد اقترح كواين ، وأوافقه على اقتراحه هذا ، إن الحد " التحليلى " لابد أن يستخدم " للصدق المنطقى " بمعناه الواسع ، أى المعنى الذى يحتوى على النموذج الذى ناقشناه توا ، وهو مثل جمل الصدق ـ ق . إذ أن الصدق ـ أ هو الحد الذى استخدمه للصدق التحليلى بهذا المعنى الواسع . ومن ثم تصبح كل جملة صادقة ـ ق هى صدق ـ أ ، على الرغم من أن كل صدق ـ أ ليست هى صدق ـ ق . لأن جملة صدق ـ ق تكون صادقة بسبب المعانى المحددة التى اتصفت بها حدودها ، كما هو الحال تماما بالنسبة إلى حدودها المنطقية . وعلى العكس من ذلك لايتحدد صدق أو كذب قضية تركيبية بمعانى حدودها ، وإنما بواسطة معلومة واقعية عن العالم الفيزيائى . فلايمكن أن نقرر ما إذا كانت القضية " تسقط الأشياء على الأرض بسرعة ٣٢ قدم فى الثانية " صادقة أو كاذبة إلا إذا فحصنا ببساطة معناها تجريبيا . فالاختبار التجريبى هنا ضرورى ، لأن هذه القضية ومثيلاتها لها " محتوى واقعى " فهى تخبرنا عن شئ ما فى العالم الواقعى .

ولايوجد بالطبع لغة طبيعية ، كالانجليزية مثلا ، تكون من الدقة والاحكام إلى الدرجة التى يتمكن كل فرد من فهم كل كلمة فيها بنفس الطريقة ، ولهذا السبب يسهل صياغة جمل غامضة من الناحية التحليلية ، وهى تلك الجمل التحليلية أو التركيبية التى سوف نوليها عنايتنا .

افترض مثلا هذا التقرير " كل نقارى الخشب ذوو الرؤوس الحمراء ، لهم رؤوس حمراء " هل هذه الجملة تحليلية أم تركيبية ؟ أو لا يمكنك الاجابة على هذا بأنها تحليلية طبعا . لأن الجملة " نقارو الخشب ذوو الرؤوس الحمراء " تعنى نفس الجملة " نقارو الخشب الذين لهم رؤوس حمراء " ولذلك فإن هذه الجملة تكافئ التقرير بأن كل نقارى الخشب ذوى الرؤوس الحمراء لهم رؤوس حمراء " . ولاتنتمى الجملة إلى صدق ـ أ فحسب ، وإنما تنتمى أيضا إلى صدق ـ ق .

إذن فأنت على صواب إذا قلت أن " نقار الخشب أحمر الرأس " له نفس معنى " الذى له رأس أحمر " لأنه فى الواقع مركب جوهرى المعنى . ولكن هل هو مركب جوهرى حقا ؟ ربما يكون لدى عالم الطيور فهم آخر مختلف للجملة " نقار الخشب أحمر الرأس " فقد يشير الحد بالنسبة له إلى فصيلة طائر تم تعريفه عن طريق نمط بنية جسم معين ، له شكل منقار ، وعادات

سلوكية معينة . وربما افترض أن جنس هذا الطائر قد عاش فى اقليم ما منعزل فجرى عليه تحول فجائى كان سببا فى تغيير لون رأسه ، قل ، إلى اللون الأبيض . ولأسباب تصنيفية بحتة فقد أبقوا على تسميته " نقار الخشب أحمر الرأس " حتى على الرغم من أن رأسه لم تعد حمراء . وبما أن الجنس قد أصبح الآن مختلفا فقد يشار إليه بوصفه " النقار ذو الرأس الابيض ـ الرأس الاحمر ) ومن ثم تصبح الجملة ( نقار الخشب أحمر الرأس " ذات تركيب غير جوهرى ، فلم يعد تفسيرها " لأن له رأسا احمر " وبالتالى تتحول إلى جملة تركيبية ، ويصبح من الضرورى اجراء اختبار تجريبى على كل " نقارى الخشب ذوى الرؤوسالحمراء " لكى نحدد ما إذا كانت كلها فى الحقيقة لها رؤوس حمراء .

بل إن القضية " إذا كان السيد سميث أعزب ، لما كانت له زوجة " . نظروا إليها بوصفها قضية تركيبية ، وذلك لانها تشتمل على كلمات معينة يمكن لأى شخص أن يفسرها بطريقة غير مباشرة . إذ ربما يكون لكلمة " زوجة " معنى واسع عند المحامى مثلا ، فتدخل ضمن " القانون " العام للزوجات ، كما أن المحامى إذا أراد أن يفسر كلمة " الاعزب ... والتى تعنى قانونا رجلا غير متزوج ، كان عليه أن يتقصى حياة السيد سميث الخاصة لكى يفرق ما إذا كانت الجملة صادقة أو كاذبة .

وعلى أية حال يمكن أن نناقش المشكلة التحليلية من جهة لغة ملاحظة اصطناعية يمكن بناؤها عن طريق قواعد محكمة . وهذه القواعد ليست فى حاجة إلى تحديد المعانى الكاملة لكل الالفاظ الوصفية فى اللغة ، وإنما تحدد معنى العلاقات التى تقوم بين ألفاظ معينة يفترض أن تكون واضحة عن طريق قواعد أطلقت عليها ذات مرة اسم " معنى المسلمات " وأفضل الآن أن أسميها ببساطة أكثر " مسلمات ـ ت ( مسلمات تحليلية ) ، ويمكننا أن نتخيل الآن وبسهولة أكثر كيف أمكن اعطاء تحديدات كاملة لكل الألفاظ الوصفية فى اللغة . إذ أمكننا مثلا أن نحدد معانى " حيوان " و" طائر " و" نقار الخشب ذو الرأس الاحمر " عن طريق قواعد التعيين التالية : ـ

(تع١) يشير الحد " حيوان " إلى مجموعة الخواص التالية (١)....، (٢) ......، (٣) .....، (٤) ...، (٥) ... ( توجد هنا قائمة كاملة عن خواص محددة يمكن افتراضها ) .

(تع٢) ويشير الحد ( طائر ) إلى مجموعة الخواص التالية (١) ......، (٢) .....،

(٣) ..... (٤) ...... (٥) .... ( وكما في تعريف ١ السابق ) زائد الخواص الإضافية (٦) ... ، (٧) ... ، (٨) ... ، (٩) ... ، (١٠) ... ( كل الخواص التى فى حاجة إلى تعيين معنى طائر ) .

(تع٣) يشير الحد " نقار الخشب ذو الرأس الاحمر " إلى مجموعة الخواص التالية :

(١) ..... ، (٢) ...... ، ...... ، (٥) ..... ( كما فى تع١ ) زائد (٦) .... ، (٧) ...... ، ... (١٠) ...... ( كما فى تع٢ ) زائد الخواص الاضافية (١١) .... ، (١٢) ... ... ، (١٣) .... ، (١٤) .... ، (١٥) ... ( أى كل الخواص التى فى حاجة إلى تعيين معنى " نقار الخشب ذو الرأس الاحمر " ) .

فإذا كتبت كل الخواص المطلوبة بمكان الفراغات الموضحة بالنقط ، لكان من الواضح أن القواعد ستكون مطولة بشكل كبير جدا وبالتالى مربكة إلى حد بعيد . ولكنه قد يكون ضروريا إذا كان التعيين الكامل لمعانى كل الألفاظ الموضعية فى لغتنا الاصطناعية ملحـا . ولحسن الحظ ، ليس من الضرورى أن تمضى إلى مثل هذه التطويلات المملة ، ونكتفى بتحديد مسلمات ـ ت لتعيين معنى العلاقات التى تنعقد بين الألفاظ الوصفية فى اللغة . فعلى سبيل المثال يكفى أن نضع ، بدلا من القائمة السابقة ، اثنين من المسلمات ـ ت على النحو التالى :

(ت١) كل الطيور حيوانات .

(ت٢) كل نقارى الخشب ذوى الرؤوس الحمراء طيور .

فإذا كانت لدينا قواعد التعريفات الثلاثة ، أمكننا اشتقاق اثنتين من مسلمات ـ ن منها بسهولة . ولكن لأن هذه القواعد مربكة فى الحقيقة إذن فليس من الضرورى أن نصوغها أصلا إذا كان غرضنا ينحصر فى مجرد توضيح البنية التحليلية للغة ، وإنما نكون فى حاجة فقط إلى مسلمات ـ ن ، فهى أبسط بكثير ، وهى تمدنا بأساس كاف لاجراء تمييز بين القضايا التحليلية والقضايا التركيبية ، فى اللغة .

ولكن افترض أن اللغة الاصطناعية تأسست على لغة طبيعية للانجليزية مثلا ، ورغبنا فى أن نمدها بمسلمات ـ ن لكى نجعلها لغة ممكنة ، أى لكى نحدد ما إذا كانت الجملة المفترضة ، فى كل حالة من الحالات تنتمى إلى اللغة التحليلية . الحقيقة أننا يمكننا ، فى بعض الحالات ، أن نرجع إلى قاموس انجليزى عادى لكى نحصل على مسلمات ـ ت . افترض هذه الجملة " إذا قذفت بزجاجة من نافذة ، إذن لتحطمت " الزجاجة " هل هذه الجملة تحليلية أم تركيبية ؟ إذا أشتققنا المسلمة ـ ت من تعريف القاموس ، لكانت على هذا النحو : تتحطم ن إذا وفقط إذا

قذفت ن من نافذة " ، ويتضح فى الحال أن القضية صادقة ـ ت ( أى صادقة بالتعريف ) . وليس من الضرورى أن نقذف بزجاجة بالفعل لكى نتأكد من أنها سوف تتحطم أم لا ، لأن صدق القضية يلزم من معنى علاقات الفاظها الوصفية باعتبارها متعينة بالمسلمة ـ ت .

وربما يكون القاموس من الدقة بحيث يمكنه أن يرشدنا إلى بعض الجمل ، ولكنه لن يساعدنا كثيرا فى بعضها الآخر . افترض مثلا تلك التقريرات التقليدية المبهمة " الانسان حيوان عاقل " و " الانسان حيوان له ساقان وليس له ريش " أن الصعوبة الرئيسية هنا تكمن فى الغموض الكبير الذى يكتنف كلمة " انسان " . أما فى لغتنا الاصطناعية فلا نجد أى صعوبة لأن قائمة مسلماتنا ـ ت هى التى تقرر المسألة عن طريق الحكم . فإذا أردنا أن نوضح معنى " انسان " " بالمعقولية " و " الحيوانية " باعتبارهما مركبين اساسيين لمعنى الكلمة ، إذن لأدخلنا " الانسان عاقل " و " والانسان حيوان " ضمن قائمة مسلمات ـ ت ، وعلى أساس مسلمات ـ ت تصبح القضية " الانسان حيوان عاقل " صادقة . أما إذا كانت مسلمات ـ ت بالنسبة " للانسان " تشير فقط إلى البنية الجسدية الفيزيائية للانسان ، فان القضية " الانسان حيوان عاقل " تصبح فى هذه الحالة تركيبية . وبالمثل إذا لم تتناول مسلمات ـ ت الحدين " بدون ريش " و" بساقين " ، فإن هذا يشير إلى أنهما لا يدخلان ضمن المركبات الاساسية لمعنى اللفظ " انسان " ومن ثم يصبح التقرير بأن الانسان " ذو ساقين وبدون ريش " قضية تركيبية أيضا . لأنه فى لغتنا يظل الانسان ذا الساق الواحدة انسانا ، كما أن الانسان الذى ينمو على رأسه الريش يظل انسانا أيضا .

والنقطة الهامة التى يجدر بنا أن نفهمها هنا هى أن القائمة الأكثر احكاما لمسلمات ـ ت قد تم انجازها بالفعل ، كما أن التمييز الاكثر احكاما فى لغتنا بين الجمل التحليلية والتركيبية يمكن انجازه فى المستقبل القريب . أما بالنسبة إلى اتساع القواعد الذى يجعل منها قواعد مبهمة أو ملتبسة ، فلابد أن نتوقع أن تكون اللغة المركبة منها تحتوى على جمل غامضة أيضا من الناحية التحليلية ، ولايرجع هذا ـ وهذه نقطة أساسية ـ إلى أنها تفتقر إلى الوضوح فى فهم التمييز بين ما هو تحليلى وما هو تركيبى ، وإنما يكون ذلك بسبب الالتباس فى فهم معانى الألفاظ الوصفية للغة .

وينبغى أن نضع نصب أعيننا دائما أن مسلمات ـ ت لا تخبرنا بشئ عن العالم الواقعى على الرغم من أنها قد تبدو كذلك . فإذا افترضنا مثلا أننا نرغب فى أن نضع المسلمة ـ ت إلى الحد

" أدفأ " لكى نبرهن على أن العلاقة فى هذا الحد غير متماثلة تقول أنــه " بالنسبــــة لأى م وأى ن ، إذا كانت م أدفأ من ن ، إذن لما كانت ن أدفأ من م " ، أما إذا قرر شخص آخر أنه قد اكتشف الموضوعين أ و ب ووجد أن من طبيعة أ أن تكون أدفأ من ب ، ومن طبيعة ب أن تكون أدفأ من أ ، فاننا سوف نصاب بالدهشة ونعتبر ذلك اكتشافا عجيبا ، وقد نرد علــى ذلـك بقولنا " لابد أن مفهومك عن الكلمة أدفأ يختلف عن مفهومنا . بالنسبة لنا تعد هذه العلاقة لا متماثلة ومن ثم يصبح وصفك للحالة التى اكتشفتها وصفا مستحيلا ولأن المسلمة ـ ت تعين خاصية لا متماثلة للعلاقة " أدفأ " التى تتعلق فقط بمعنى الكلمة كما هى مستخدمة فى لغتنا ، فهى لاتقول شيئا أيا كان عن طبيعة العالم الواقعى .

وفى السنوات القليلة الماضية تعرضت وجهة النظر التى تقول بامكانية وضع تمييز دقيق بين القضايا التحليلية والتركيبية إلى هجوم شديد من كوايـن ، ومورتـون وايت " Morton White " وآخرين . بيد أن وجهة نظرى الخاصة فى هذا الموضوع قد عرضتها فى ورقتين أعيد طبعهما فى ملحق الطبعة الثانية لكتابى " المعنى والضرورة " عام ١٩٥٦ . تتعرض الورقة الأولى إلى " معنى المصادرات " وهى رد على كواين وتناولت فيها بطريقة صورية ( ولقد تعرضت إلى ذلك هنا ولكن بطريقة غير صورية ) كيف يمكن اجراء تمييز دقيق للغة الملاحظة المركبة ، وذلك عن طريق اضافة مسلمات ـ ت إلى قواعد اللغة . أما الورقة الثانية فكـانت عن " المعنى والترادف فى اللغات الطبيعية " Meaning and synonymy in Natural Languages " تناولت فيها كيف يمكن اجراء تمييز للغة المستخدمة بشكل عام فى الحياة اليومية ، مثل اللغة الانجليزية ولقد اعتمد التمييز هنا على بحث فى عادات الحديث ، أدى إلى ظهور مشكلات جديدة ناقشتها فى الورقة ، ولن نتعرض لها هنا .

ومما سبق يتضح أن التحليلية قد نوقشت على نطاق واسع ، وبصفة خاصة من جهة اللغات الملاحظة ، مثل اللغات الملاحظة فى الحياة اليومية ، وفى العلم ، وأيضا اللغة الملاحظة المركبة عند فيلسوف العلم . والواقع أننى مازلت عند قناعتى بأن التمييز بين التحليلية والتركيبية فى لغة ملاحظة قد تم حلها مبدئيا . بل وأكثر من ذلك لدى اعتقاد راسخ بأن الغالبية العظمى من العلماء يتفقون على أهمية هذا التمييز فى اللغة الملاحظة للعلم . وأيا كان الأمر إذا انتقلنا إلى البحث عن لغة نظرية للعلم ، فاننا سوف نواجه بصعوبات بالغة ، وسوف نعرض فى الفصل التالى بعض هذه الصعوبات واضعين فى اعتبارنا الطرق الممكنة للتغلب عليها .

## الفصل الثامن والعشرون

# التحليلية فى لغة نظرية

قبل أن أخوض فى شرح كيف اعتقد بأن التمييز التحليلى ـ التركيبى يمكن أن يجرى بوضوح فيما يختص باللغة النظرية للعلم ، يجدر بنا أولا أن نتفهم الصعوبات الشديدة المتضمنة ، وكيف أنها تنشأ من حقيقة أن حدود ـ ن ( الحدود النظرية ) لايمكن أن تعطى توضيحات كاملة . أما فى اللغة الملاحظة ، فان هذه المشكلة لا تنشأ اصلا . إذ أنها تفترض أن جميع علاقات المعنى بين الحدود الوصفية للغة الملاحظة يتم التعبير عنها بمسلمات ـ أ المناسبة ، كما هو مبين فى الفصل السابق . أما بالنسبة إلى الحدود ـ ن ، فإن الموقف يختلف تماما ، لأنه لايوجد توضيح امبيريقى كامل لحدود مثل " اليكترون " " كتلة " و " مجال مغناطيسى " صحيح أنه يمكن ملاحظة وتفسير الاثار الناتجة عن مرور اليكترون فى غرفة الفقاعة " Bubble Chamber " ، إلا أن مثل هذه الملاحظات تمدنا فقط بتوضيحات امبيريقية للجزيئات وغير مباشرة للحدود ـ ن التى ترتبط معها .

افترض مثلا الحد النظرى " درجة الحرارة " المستخدم فى الحركية للجزيئات فلابد أن تكون مصادرات ـ ط ( قواعد المطابقة ) هى التى تربط هذا الحد بطريقة استخدام الترمومتر مثلا . فبعد أن يوضع الترمومتر فى سائل ، فاننا نوجه انظارنا إلى قراءة الدرجة ، وتربط مصادرات ـ ط هذا الاجراء بالحد ـ ن " درجة الحرارة " بطريقة تجعل من قراءة الدرجة تفسيرا جزئيا للحد فقط ، وهو جزئى لأن هذا التفسير الخصوصى " لدرجة الحرارة " لايمكن استخدامه فى كل جمل النظرية التى يظهر فيها الحد . إذ أن الترمومتر العادى يعمل فقط على مسافة صغيرة من مقياس درجة الحرارة . وهناك درجات حرارة منخفضة تجعل أى سائل خاضع للاختبار يتجمد ، كما أن هناك درجات حرارة مرتفعة تجعل أى سائل خاضع للاختبار يتبخر ، وبالنسبة لدرجات الحرارة هذه ينبغى أن تستخدم طرق مختلفة تماما للقياس . وفى كل طريقة من هذه الطرق ، ترتبط مصادرات ـ ط بالمفهوم النظرى لدرجة الحرارة " ولايمكن أن يقال فى هذه الحالة أن المعنى الامبيريقى " لدرجة الحرارة " فارغ ، لأنه يمكن اجراء ملاحظات جديدة فى المستقبل ، بمصادرات

ـ ط جديدة أيضا فنحصل على تفسير امبيريقى افضل للمفهوم .

والحقيقة أن همبل ، فى الجزء السابع من مقالته " طريقة صياغة المفهوم فى العلم " " دائرة معارف العلوم الموحدة ، ١٩٥٣ ) قد رسم صورة لبنية النظرية تستحق الذكر :

> ربما تكون النظرية العملية شبيهة بشبكة متسعة معقدة ، يمكن تمثيل حدودها بالعقد ، بينما تربط جزءاً من الطرف الأخير ، الذى هو التعريفات ، وجزءاً آخر ، الذى هو الفروض الأساسية والمشتقة المتضمنة فى النظرية . أما النظام الكلى فهو يطفو ، كما كان ، فوق سطح مستو من الملاحظة ، ويرسو عليه عن طريق قواعد التوضيح وينبغى النظر إلى هذه بوصفها خيوطا ، لاتكون جزءا من الشبكة ، وإنما هى تربط اجزاء معينة من الطرف الأخير من اماكن معينة فى السطح المستوى للملاحظة . ويفضل هذه الروابط الموضحة ، يمكن أن تؤدى الشبكة وظيفتها باعتبارها نظرية علمية : ومن معطيات ملاحظة معينة ، نستطيع أن نرتقى عن طريق خيط توضيحى ، إلى نقطة ما فى الشبكة النظرية ، ومن ثم نتقدم ، عن طريق تعريفات وفروض إلى نقاط أخرى ، ومنه يسمح الخيط التوضيحى الآخر ، بالنزول إلى السطح المستوى للملاحظة (١) .

والمشكلة هى أن نعثر على وسيلة للتمييز ـ فى اللغة التى تتحدث عن هذه الشبكة المعقدة ـ بين الجمل التى تكون تحليلية وتلك التى تكون تركيبية ، لأن من السهل أن نعرف جمل صدق ـ ت ، التى تعد صادقة من جهة صورتها المنطقية " إذا كان لكل الاليكترونات عزائم مغناطيسية ، ولم يكن للجسيم م عزم مغناطيسى ، إذن لما كان الجسيم م " اليكترونا " ومن الواضح أن هذه الجملة تعد صدق ـ ق ، إذ ليس من الضرورى أن نعرف أى شئ عن معانى حدودها الوصفية ، لكى نعرف أنها صادقة . ولكن كيف يتم التمييز بين الجمل التحليلية ( التى تكون صادقة من جهة معانى حدودها ومشتملة على حدود وصفية ) ، وبين الجمل التركيبية ( التى لايمكن تقرير صدقها دون ملاحظة العالم الواقعى ) ؟

ولكى نتعرف على قضايا تحليلية فى لغة نظرية ، من الضرورى أن نحوز على مسلمات ـ أ التى تعين معنى العلاقات التى تنعقد بين الحدود النظرية .وتكون القضية تحليلية ، إذا كانت نتيجة منطقية لمسلمات ـ أ ، كما تكون صادقة ، إذا لم تتطلب ملاحظة العالم الواقعى ، أى إذا

تجنبت المضمون الواقعي وهي صادقة فقط من جهة معاني حدودها ، مثل تلك القضية التي تقرر " ليس ثمة أعزب متـزوج " فهي صادقة فقط مـن جهـة المعاني الخاصة بكلمتـي " أعـزب " و" متزوج " ، ويمكن التحقق من هذه المعاني باحكام عن طريق اللغة الملاحظة كيف يمكن صياغة مسلمات ـ أ المقارنة لكي تتماثل مع القضايا التحليلية في لغة نظرية مشتملة على حدود نظرية تفتقر إلى تفسيرات كاملة ؟

ربما يعتقد من الوهلة الأولى ، أن مسلمات ـ ن وحدها هي التي يمكن أن تستخدم بوصفها مسلمات ـ أ . صحيح أنه يمكن بناء نظرية استنباطية عن طريق ادماج مسلمات ـ ن بالمنطق والرياضيات ، ولكن النتيجة المتوقعة هي وجود نسق استنباطي مجرد ، تصبح الحدود النظرية فيه مفتقرة حتى إلى التفسير الجزئي . والهندسة الاقليدية مثال مألوف على ذلك ، إنها بناء غير مفسر للرياضيات البحتة . ولكي تصبح نظرية علمية ينبغي أن تكون حدودها الوصفية مفسرة ، على الأقل جزئيا . وهذا يعني أنه ينبغي أن يكون لحدودها معاني امبيريقية ، ولن يتأتى ذلك بالطبع ، إلا عن طريق قواعد المطابقة التي تربط حدودها الأولية بظواهر العالم الفيزيائي . ولهذا السبب تتحول الهندسية الاقليدية إلى هندسة فيزيائية . فتقول أن الضوء يتحرك في قطع مستعرض " خطوط مستقيمة " ، والكواكب تتحرك في قطع ناقص " اهليلجي " حول الشمس . وعندما يتم توضيح البنية الرياضية المجردة ) ولو على الأقل جزئيا ) ، وذلك عـن طريق مسلمات ـ ق ، فلن تنشأ المشكلة السيمانطيقية التي تعني بتمييز القضايا التحليلية من القضايا التركيبية . ولا يمكن أن تستخدم مسلمات ـ ن النظرية بوصفها مسلمات ـ أ ، لأنها تفشل في أن تمدنا بحدود ـ ن بالمعنى الامبيريقي .

ولكن هل يمكن أن تستخدم مسلمات ـ ق لتمدنا بمسلمات ـ أ ؟ لايمكن بالطبع استخدام مسلمات ـ ق وحدها . ولكي نحصل على أكثر توضيح ممكن للحدود ـ ن ( على الرغم من أنه يظل جزئيا فقط ) ، لكان من الضروري الاستعانة بالنظرية الكاملة ، ودمجها مع مسلمات ق و أ . هب أننا فرضنا سلفا النظرية الكاملة ، فهل تؤسس مصادرات ن ، ق ، المصادرات ـ أ التي نبحث عنها ؟ كلا ، أننا قد افترضنا سلفا الشئ الكثير جدا ، وحصلنا حقا على كل معنى امبيريقي استطعنا أن نحصل عليه لحدودنا النظرية ، ولكننا حصلنا أيضا على معلومة واقعية . ولذلك إذا دمجنا مسلمات ـ ن ، ق ، حصلنا على قضايا تركيبية . وكما رأينا ، لايمكن أن تزود مثل هذه القضايـا بمسلمات ـ أ .

إليك بمثال يوضح لك هذا . افترض أننا نقول عن مسلمات ـ ن ، ق الخاصة بالنظرية العامة

للنسبية أنها سوف تخدم مسلمات ـ أ المماثلة للجمل التحليلية فى النظرية . فاننا بمساعدة مسلمات ـ ن ، ق وبمعاونة المنطق والرياضيات ، سوف نستنبط أن الضوء الصادر من النجوم سوف يكون منحرفا بسبب المجال الجاذبى للشمس . ألا يمكننا القول أن هذه النتيجة تحليلية ، وأنها صادقة فقط من جهة معانيها الامبيريقية التى سبق أن أشرنا إليها ، لكل الحدود الوصفية ؟ لا نستطيع ذلك ، لأن النظرية العامة للنسبية تزودنا بتنبؤات شرطية عن العالم ولايمكن اثباتها أو رفضها إلا عن طريق الاختبارات الامبيريقية .

افترض مثلا القضية التى سوف نرمز إليها بالقضية أ ، " هاتان اللوحتان الفوتوغرافيتان تصوران نفس نموذج النجوم . أخذت الأولى اثناء الكسوف الكلى للشمس ، عندما كان قرص الشمس مغطى فى داخل النجم . وأخذت الثانية عندما لم تكن بالقرب من هذا النموذج " أما القضية ب فهى " أن صور النجوم القريبة جدا من الشمس المكسوفة سوف تزاح قليلا من مواضعها فى اتجاه بعيد عن الشمس كما هو مبين فى اللوحة الثانية " ولاشك أن القضية التى تأخذ صورة التقرير الشرطى " إذا كانت أ إذن ب " يمكن أن تشتق من النظرية العامة للنسبية ، ولكنها تعد أيضا قضية يمكن اختبارها بالملاحظة وكما ذكرنا فى الفصل السادس عشر ، كان أول من أجرى الاختبار التاريخى لهذا التقرير هو فيندلاى فروندليتش سنة ١٩١٩ وعرف أن أ صادقة ، وبعد قياسات دقيقة لمواضع الضوء على اللوحتين ، وجد أن ب صادقة أيضا . وإذا كان قد وجد أن ب كاذبة ، لكان فى الامكان تكذيب القضية الشرطية " إذا كانت أ ، إذن ب " وبالتالى فإن هذا سوف يدحض نظرية النسبية التى اشتقت منها القضية الشرطية " إذا كان أ ، إذن ب " ومن ثم لابد أن يكون هناك محتوى واقعى لتأييد النظرية التى تقرر أن ضوء النجم ينحرف عن طريق المجالات الجاذبية .

ولنتناول نفس النقطة ولكن بصورية أكثر . بعد أن نعين لنظرية النسبية المسلمات ـ ن ، ق يمكننا أن نشتق على أساس مجموعة المقدمات المفترضة أ فى اللغة الملاحظة ، مجموعة أخرى من القضايا ب ، التى تعد أيضا فى لغة ملاحظة . ولذلك تصبح القضية " إذا كانت أ إذن ب " نتيجة منطقية باتحاد ن و ق . فإذا أخذت ن و ق بوصفهما مسلمات ـ أ ، فمن الضرورى أن نعتبر القضية " إذا كانت أ إذن ب " تحليلية . ولكن من الواضح أنها ليست كذلك ، وإنما هى قضية تركيبية فى لغة ملاحظة ، تكذب عندما يتبين من ملاحظة العالم الواقعى أن أ صادقة وب كاذبة .

ولقد أشار كواين وفلاسفة علم آخرون إلى أن الصعوبات هنا كبيرة ، لدرجة أنها تنقسم إلى

تحليلية تركيبية ، ولايمكن مطابقتها على لغة العلم النظرية .. ومنذ عهد قريب جدا ، عرض همبل وجهة النظر هذه بشكل واضح جدا (٢) وكان همبل ميالا ، ولكن ربما بتردد ، إلى قبول الانقسام من جهة اللغة الملاحظة ، شاخصا بناظريه إلى نفعهما من جهة اللغة النظرية ، معلنا بقوة المذهب الشكى عند كواين . إذ أكد على أن الدور المزدوج لمسلمات ـ ن ، ق تجعل مفهوم الصدق التحليلى الخاص بلغة نظرية مراوغا تماما . واعتقد أنه من الصعوبة بمكان تخيل وجود شرخ فى هاتين الوظيفتين الخاصتين بمسلمات ـ ن ، ق ، لأنه يمكن أن يقال فى هذه الحالة أن هذا الجزء منهما إنما يسهم فى توضيح المعنى ، ومن ثم إذا كانت القضايا التى تعتمد على هذا الجزء صادقة ، فهى تصدق بسبب معناها فقط ، طالما ظلت القضايا الأخرى ، قضايا واقعية .

وثمة طريقة فى غاية الاهمية لحل ، أو بالاحرى لتجنب كل المشكلات الصعبة المرتبطة بالحدود النظرية وهى تلك التى اقترحها رامسى . وكما أوضحنا فى الفصل السادس والعشرين ، يمكن أن نذكر مضمون نظرية تختص بالملاحظة الكلية فى جملة معلومة مثل جملة رامسى ( ن ق ) لا تظهر فيها سوى الحدود التى تختص بالملاحظة والحدود المنطقية وربما يقال أن الحدود النظرية " مسورة باستمرار " لأنه ليس ثمة حدود نظرية " ولا لغة نظرية . ومن ثم تختفى مشكلة تعريف التحليلية بالنسبة إلى اللغة النظرية . وأيا ما كان الأمر ، تعد هذه الخطوة جذرية أيضا . وكما بينا من قبل أن التخلى عن الحدود النظرية بالنسبة للعلم يؤدى إلى تعقيدات ومتاعب كثيرة لأن الحدود النظرية تبسط وتسهل مهمة صياغة القوانين إلى حد كبير ولهذا السبب وحده لايمكن استبعادها من لغة العلم .

واعتقد أن ثمة وسيلة لحل المشكلة عن طريق استخدام جملة رامسى ، ولكن أن نفعل ذلك بطريقة لا تجبرنا على الأخذ بخطوة رامسى النهائية والحاسمة وإنما يكون ذلك عن طريق اجراء تمييزات معينة ، تمكننا من الحصول على الانقسام المطلوب بين الصدق التحليلى والتركيبى فى اللغة النظرية ، ونتمكن فى نفس الوقت من الاحتفاظ بكل الحدود النظرية ، وجمل أية نظرية .

ولقد سبق أن أولينا اهتمامنا بقدر ما إلى نظرية تحتوى على " جملتين " : جملة ن ، تشتمل على جميع مصادرات ـ ن ، وجملة ق تشتمل على جميع مصادرات ـ ق . أما النظرية ن ق فهى تضم هاتين الجملتين .

ولسوف اقترح طريقة أخرى نستطيع عن طريقها أن نشطر النظرية ن ق إلى جملتين ، إذا

اقترنتا فانهما تكافئان النظرية . وهى تنقسم إلى الجملة أ ن والجملة و ن . والمقصود بالجملة أ ن أنها تستخدم مثلما تستخدم مسلمات ـ أ فى جميع الحدود النظرية الخاصة بالنظرية ، وهى تتجنب بالطبع ، وبشكل كامل المحتوى الواقعى ، أما الجملة و ن فإن المقصود بها أنها تكون جملة تعبر بشكل كامل عن شئ مختص بالملاحظة ، أى عن المضمون الواقعي للنظرية . وكما أوضحنا من قبل لاتفعل جملة رامسى ذاتها ر ن ق هذا الأمر تماما ، وإنما هى تعبر ، فى لغة ملاحظة ، تتسع لتشمل كل الرياضيات ـ عن كل شئ تقرره النظرية عن العالم الواقعى ، وهى لاتمدنا بأى توضيح عن الحدود النظرية ، لأن مثل هذه الحدود لاتظهر فى الجملة ، ومن ثم ، فإن جملة رامسى ر ن ق تؤخذ بوصفها مسلمة واقعية و ن .

فإذا أخذنا الجملتين أ ن ، و ن معا ، إذن ينبغى أن يتضمنان منطقيا النظرية الكاملة ن ق . فكيف يمكن صياغة الجملة أ ن بحيث تحقق مثل هذه المتطلبات ؟ بالنسبة لأى جملتين جـ ١ ، جـ ٢ ، تعد الجملة الأضعف التى تتضمن منطقيا جـ ١ ، جـ ٢ معا ، تقريرا تقليديا ، وهو " إذا جـ ١ ، إذن جـ ٢ " . وفى صورة رمزية ، يتم التعبير عن ذلك بالرمز المعتاد للتضمن المدى " جـ ١ < جـ ٢ " . وهكذا فإن الوسيلة الابسط لصياغة مسلمة ـ أ التى هى أ ن وبالنسبة للنظرية ن ق ، هى :

( أ ن ) ن ق < ن ق

ويمكن أن نتبين ببساطة أن هذه الجملة فارغة واقعيا ، فهى لا تخبرنا بشئ ما عن العالم . وإنما كل المحتوى الواقعى يكمن فى الجملة و ن (٣) التى تعد فى حقيقتها جملة رامسى ر ن ق . وتؤكد الجملة أ ن ببساطة أنه إذا كانت جملة رامسى صادقة ، إذا لكان علينا أن نفهم الحدود النظرية بطريقة تجعل من النظرية الكاملة صادقة أيضا . إذ أنها جملة تحليلية خالصة ، لأن صدقها السيمانطيقى يعتمد على المعانى المقصودة الخاصة بالحدود النظرية . وهذا التقرير موصول بجملة رامسى ذاتها ، ومن ثم فإن ت (٤) سوف تتضمن النظرية الكاملة .

دعنا نرى الآن ، كيف تمدنا المسلمة ـ أ الغريبة وهى ر ن ق < ن ق بوسيلة للتمييز بين القضايا التحليلية والقضايا التركيبية فى لغة نظرية . معروف أن جملة رامسى تركيبية ويمكن أن يتأسس صدقها فقط عن طريق الملاحظة الواقعية للعالم ، ولكن أية تقنية ت ـ تتضمن المسلمة ـ أ المفترضة سوف تكون تحليلية .

وهنا ، وكما هو الحال مع الجمل التحليلية فى لغة ملاحظة ، تشير المسلمة ـ أ إلى معنى

واسع عندما تتحدث عن شئ ما فى العالم . ولكن بالمعنى الدقيق أنها تفتقر إلى ذلك . إذ أن المسلمة ـ أ تذكر أنه إذا كانت توجد كيانات ( وهى تلك التى يشار اليها بالاسوار الوجودية فى جملة رامسى ) بحيث تكون من النوع الذى يرتبط معا عن طريق كل العلاقات التى يتم التعبير عنها فى المسلمات النظرية الخاصة بالنظرية والتى ترتبط بكيانات ملاحظة عن طريق كل العلاقات المتعينة بالمسلمات المطابقة للنظرية ، جيننذ تكون النظرية فى حد ذاتها صادقة . ويبدو هنا أن المسلمة ـ أ تخبرنا بشئ ما عن العالم ، ولكن الحقيقة أنها لاتفعل ذلك . فهى لاتخبرنا عما إذا كانت النظرية صادقة ، أو أن هذه هى الوسيلة التى يوجد عليها العالم ، وإنما هى تقرر فقط أنه إذا كان العالم يسلك بهذه الطريقة ، فينبغى فهم الحدود النظرية بوصفها حدودا مرضية للنظرية .

ولقد أوردنا فى الفصل السادس والعشرين مثالا لنظرية تحتوى على ستة مفاهيم نظرية ، أعنى فئتين وأربع علاقات . وكانت الصياغة النسقية المفترضة ( والتى كان يشار إليها ببساطة بالنقاط ) للنظرية ن ق وجملتها الرمسية هى ر ن ق . وبالنظر إلى المسلمة ـ أ فى هذا المثال ، فإنه يمكن صياغتها على النحو التالى :

( أ ن ) ( ق١∃ ) ( ق٢∃ ) ( ل١∃ ) ( ل٢∃ ) ( ل٣∃ ) ( ل٤∃ )
{ .... ق١ ... ق٢ ... ل١ ... ل٢ ... ل٣ ... ، ... ق١
... و١ ...و٢ ... و٣ ... ل٢ ... و٤ ... وم ... ] >
{ ... جز ... هايجز .... ح ... ض ... ك ... س
... ، ... ح ... و١ ... و٢ ... و٣ ... ض ... و٤ ... وم ... )

ويقرر هذا أنه إذا كان العالم على هذا النحو فثمة ستة أضعاف للكيانات على الأقل ( فئتين وأربع علاقات ) ترتبط فيما بينها وأن الكيانات الملاحظة المتعينة بالنظرية هى ( و١ ، و٢ ... وم ، ومن ثم فإن الكيانات النظرية جز ، هايجز ، ح ، ض ، ك ، س ، تشكل السدس الذى يرضى النظرية . ومن الاهمية بمكان أن ندرك أنها ليست قضية واقعية تقرر أنه تحت الشروط السالفة فإن الكيانات الستة تعمل بوصفها موضوعا لواقعة ترضى النظرية . لأن الحدود النظرية الستة لاتسمى كيانات ستة متعينة . إذ قبل أن توضع المسلمات ـ أ التى هى أ ن ، لم يكن لهذه الحدود أى تفسير ، حتى ولو كان جزئيا . وهكذا فإن المسلمة تقرر أنه إذا كان هناك واحد أو أكثر من المضاعفات الستة للكيانات التى ترضى النظرية فان الحدود النظرية الستة يمكن أن

تفسر بوصفها اشارة إلى كيانات ستة تشكل ستة مضاعفات ذلك النوع . وإذا كان هناك فى الواقع ستة اضعاف ذلك النوع ، إذن لأعطت المسلمة تفسيرا جزئيا للحدود النظرية ، وذلك عن طريق تحديد المضاعفات الستة المسموح بها للاشارة إلى المضاعفات الستة لهذا النوع . وإذا لم يكن هناك ، من ناحية أخرى المضاعفات الستة لهذا النوع ـ وبكلمات أخرى إذا كانت جملة رامسى كاذبة ـ إذن لكانت المسلمة صادقة بقطع النظر عن تفسيراتها ( لأنه إذا كانت " أ " كاذبة إذن تكون أ > ب صادقة ) ومن ثم فإن هذا لايعطى تفسيرا حتى ولو كان جزئيا للحدود النظرية .

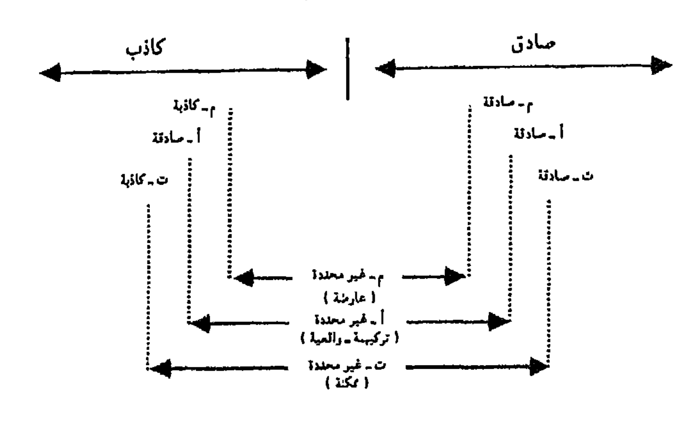
ومرة أخرى ، كل هذا مفهوم بشكل تام ، وليس هناك مانع من أخذ القضية الشرطية ر ن ق > ن ق ، بوصفها المسلمة ـ أ الخاصة بـ ن ق بنفس الطريقة التى تؤخذ فيها مسلمات ـ أ فى اللغة الملاحظة فكما تخبرنا المسلمة ـ أ فى اللغة الملاحظة بشئ ما عن معنى الحد " أدفأ " فإن المسلمة ـ أ فى اللغة النظرية تخبرنا أيضا بمعلومة ما عن الحدود النظرية ، مثل " اليكترون " و " مجال كهرومغناطيسى " . وتسمح لنا هذه المعلومة بالتناوب أن نكتشف أن الجمل النظرية المعينة تحليلية ، أعنى تلك التى تستتبع من المسلمة أ الخاصة بـ أ ن .

والآن يمكننا أن نقرر باحكام ما نعنيه بصدق ـ أ فى اللغة الكلية للعلم . فتكون الجملة صدق ـ أ إذا كانت مسلمة ـ ت عن طريق ضم مسلمات ـ أ فى اللغة الملاحظة ، بمسلمات ـ أ الخاصة بأى لغة نظرية مفترضة . وتكون الجملة كذب ـ أ إذا كان نفيها هو صدق ـ أ ، أما إذا كانت لاتصدق ـ أ ولا كذب ـ أ فانها تكون تحليلية .

وإننى استخدم الحد " صدق ـ م " ـ أى الصدق الذى يعتمد على المسلمات ـ للاشارة إلى ذلك النوع من الجمل التى إذا وفقط إذا كانت ت ـ متضمنة بواسطة المصادرات ، أعنى أن تكون لمصادرة ـ ر ( جملة رامسى ) مشتملة على كل من مصادرات ـ أ الملاحظة والنظرية معا . وبكلمات أخرى ، يعتمد صدق ـ م على ثلاث مسلمات ( رن ، أ و ، أ ن ، ولكن لأن ر ن و أ ن تكافئان ن ق ، ينبغى أن تكون الصورة الأصلية للنظرية ممثلة تماما لكل المصادرات بما فيها ن ق و أ و .

وعلى أساس الأنواع المختلفة للصدق والتى تم تعريفها ، والأنواع المطابقة للكذب ، نحصل على تصنيف عام للجمل الخاصة باللغة العلمية . ويمكننا أن نرسم هذا رسما بيانيا كما هو مبين

فى الشكل ٢٨ ـ ١ . وهذا التصنيف يقطع بالعرض التقسيم السابق للغة إلى منطقية ، وملاحظة ونظرية ، والجمل المختلطة التى سبق أن ذكرناها ، والتى تعتمد على أنواع الحدود الحادثة فى الجمل . وكما سيلاحظ القارئ أن الحد التقليدى " تركيبى " يوضع فى القائمة كبديل لـ أ ـ غير المحددة . ويبدو هذا طبيعيا ، لأن الحد صدق ـ أ كان مستخدما لذلك المفهوم الذى تم تعريفه بوصفه تفسيرا للحد المعتاد " تحليلى " ( أو " صادق تحليليا " ) . ومن ناحية أخرى ، ينطبق الحد م ـ غير المحدد على فئة أضيق ، أعنى على أ ـ غير المحددة ، أى الجمل " التركيبية " ، حيث لا يتحدد الصدق أو الكذب حتى عن طريق مسلمات ن ق النظرية كما هو الحال مثلا فى القوانين الأساسية للفيزياء أو أى مجال آخر فى العلم . هنا يفرض الحد " عارض" نفسه كبديل .




شكل ٢٨ ـ ١

ولا أود أن أكون دجماطيقيا فيما يتعلق ببرنامج هذا التصنيف ، وبصفة خاصة فيما يتعلق بتعريف صدق ـ أ الذى يعتمد على المسلمة ـ أ المقترحة . وإنما أقدمها بالاحرى كحل مؤقت غير نهائى لمشكلة تعريف التحليلية بالنسبة للغة نظرية . وعلى الرغم من أننى فيما سبق لم أشارك تشاؤم كواين وهمبل ، إلا أننى اعترفت دائما أنها تعد مشكلة خطيرة ، وإن من الصعب أن نجد لها حلا مرضيا فى القريب العاجل ، كما أننى اعتقدت للحظة أننا ربما نخضع أنفسنا لأخذ عبارة تحتوى على حدود نظرية ، وحدود لا تخضع للملاحظة على أنها عبارة تحليلية فقط ، تحت شرط أكثر ضيقا وبالكاد تافها بأنها تصبح ت ـ صادقة مثل " اما أن يكون الجسيم اليكترونا أو لايكون اليكترونا " ، وأخيرا وبعد سنوات عديدة من البحث وجدت أن هذا يعد منفذا جديدا ، ومع مسلمة ـ أ الحديثة ، لم تكن ثمة صعوبات قد اكتشفت بعد فى هذا المنفذ الجديد . وإننى لعلى قناعة الآن أن ثمة حلا ، وحتى إذا ظهرت صعوبات ، فلسوف يكون فى الامكان التغلب عليها .

## هوامش :

(١) الاقتباس من كارل ج ، همبل ، الانسيكلوبيديا العالمية لوحدة العلم ، مجلد ، رقم ٧٠ : أوليات صياغة المفهوم في العلم الامبيريقي . ( شيكاغو : دار نشر جامعة شيكاغو ، ١٩٥٢ ، ص ص ٣٢ ـ ٣٨ .

(٢) أنظر ورقتي همبل " احراج الباحث النظرى " " The Theoreticians Dilemma " للناشرين ميشيل سكريفن ، وجروفر ماكسويل . دراسات مينسوتا في فلسفة العلم ( مينوبوليس ) مينسوتا : دار نشر جامعة مينسوتا ، ١٩٥٦ ) المجلد ٢ ، و " التضمنات في أعمال كارناب الخاصة بفلسفة العلم " Implications of Carnap's work for the philosophy of science " . للناشر بول ارثر شليب ، فلسفة رورلف كارناب ( لاسال ، ٣ أوين كورت ، ١٩٦٣ ) .

(٣) يرمز الرمز و هنا إلى الحد " واقعى " . ( المترجم ) .

(٤) يرمز الرمز ن هنا إلى القضايا التحليلية . ( المترجم ) .

□ القسم السادس □

# ما وراء الحتمية

## ☐ الفصل التاسع والعشرون ☐

# القوانين الإحصائية

فى الماضى ، كان فلاسفة العلم يولون اهتماما كبيرا بمسألة : " ماهى طبيعة السببية " ؟ ولقد حاولنا أن نوضح فى الفصول السابقة .. لماذا لم تعد هذه أفضل وسيلة لصياغة المشكلة . ومهما كان نوع السببية ، فهناك فى العالم ما يتم التعبير عنه بواسطة قوانين العلم . وإذا كنا نرغب فى أن ندرس السببية ، فليس أمامنا إلا أن نفحص تلك القوانين ، وذلك عن طريق دراسة طرق صياغتها وكيفية تأييدها أو عدم تأييدها بالتجربة .

ولقد اتضح من فحص قوانين العلم ، أن من المناسب التمييز بين القوانين التجريبية ، التى تتعامل مع المرصودات ، وبين القوانين النظرية التى تتعلق باللامرصودات . وكما رأينا برغم عدم وجود خط فاصل يفصل بين المرصودات واللامرصودات وبالتالى عدم وجود خط فاصل بين القوانين التجريبية والقوانين النظرية ، إلا أن التمييز مع ذلك يكون مفيدا . أما التمييز الآخر الهام والمفيد فى نفس الوقت فهو ذلك التمييز الذى يفرق بين القوانين التجريبية والنظرية من جهة والقوانين الحتمية الاحصائية من جهة أخرى . ولقد سبق أن تناولنا هذا التمييز من قبل ، ولكننا سوف نتناوله هنا بتفصيل أكبر .

إن القانون الحتمى هو ذلك القانون الذى يقرر أنه تحت شروط معينة ، تحدث أشياء معينة . وكما تبين لنا من قبل إما أن يصاغ هذا القانون صياغة كيفية أو يصاغ صياغة كمية . فالتقرير بأن قضيب الحديد يزداد طوله عند تسخينه ، إنما هو تقرير كيفى . أما التقرير بأن قضيب الحديد يزداد طوله بمقدار معين عند تسخينه بدرجة حرارة معينة ، فهو تقرير كمى . والقانون الحتمى الكمى ينص دائما على أنه إذا كان لمقدار معين قيم معينة ، فإن مقدارا آخر ( أو واحدا من مقادير أخرى فى زمن آخر مختلف ) سوف تكون له قيمة معينة . وبالاختصار يعبر القانون عن علاقة وظيفية بين قيم مقدارين أو أكثر .

أما القانون الاحصائى فهو ينص على توزيع احتمالى لقيم مقدار فى حالات فردية ، أو هو

يذكر فقط قيمة متوسط المقدار فى فئة حالات متعددة فهو يذكر مثلا أنك إذا القيت بزهرة النرد المكعبة ستين مرة ، لكان من المتوقع أن يظهر كل وجه من الوجوه الستة إلى أعلى فى حوالى عشـــر رميات . ولايمكن للقانون أن يتنبأ بما سوف يحدث فى كل رمية على حدة ، كما أنه لايذكر ما سوف يحدث على وجه اليقين فى الستين رمية ، وإنما هو يقرر أنه إذا القى بعدد كبير من الرميات فمن المتوقع أن يظهر كل وجه ، فى الغالب كما يظهر أى وجه آخر . ولأن هناك ستة وجوه محتملة بالتساوى ، فإن احتمال ظهور أى وجه يكون الـ ٦/١ . إذن الاحتمال هنا يستخدم بمعنى احصائى لكى يعنى تكرارا نسبيا على مدى الوقت ، ولايعنى بما هو منطقى أو استقرائى وإنما هو ما يطلق عليه اسم درجة التأييد .

ولقد كانت القوانين الإحصائية شائعة فى القرن التاسع عشر ، ولكن لم يكن أحد من الفيزيائيين يتخيل فى ذلك الوقت ، إن مثل هذه القوانين يمكن أن تشير إلى غياب الحتمية فى قوانين الطبيعة الأساسية . ولقد افترض إن القوانين الإحصائية كانت تعمـل طبقا لأسباب الملاءمة (*) " Reasons of Convenience " ، أو لأن المعرفة الكافية لم تكن متاحة لكى تصف موقفا ما بطريقة حتمية ** .

ولقد كانت الحكومات فى ذلك الوقت تهتم بنوع معين من القضايا ، فبعد عملية إحصـــاء السكان ، كانت توجد أمثلة مألوفة يعبر عنها فى صورة إحصائية تنتمى إلى أسباب الملاءمة أكثر منها للجهل بالأسباب فأثناء عملية الحصر ، تحاول الحكومة أن تحصل على بيانات كل حالة فردية مثل عمره ، وجنسه ، ومحل الميلاد ، وعدد الأفراد الذين يعولهم ، والحالة الصحية وهكذا . وبعد الإحصاء الدقيق لكل هذه البيانات يصبح فى مستطاع الحكومة أن تصدر نشرة ذات قيمة . ( كان العد والإحصاء فى العصور السابقة يتم بواسطة اليد ، وكان من المعتاد أن يتم الإحصاء كل عشر سنوات ، ولم تكن الإحصاءات دقيقة فى ذلك الوقت . أما فى عصرنا الحالى فإن البيانات توضع فى كروت مثقوبة وتقوم الالات الحاسبة بعملية إحصاء سريع ودقيق ) وتكشف البيانات أن ثمة نسبة مئوية معينة من الافراد فوق الستين عاما ، وإن ثمة نسبة مئوية معينة من الأطباء أو من الأفراد المصابين بالتدرن الرئوى ، وهكذا . ويعد هذا النوع من القضايا الإحصائية ضروريا لاستنباط عدد كبير جدا من الوقائع التى يسهل التعامل معها . ولايعنى هذا أن الوقائع الفردية غير مفيدة ، وإنما يعنى أننا ينبغى أن نعاملها فقط بوصفها وقائع فردية . وبدلا من اجراء ملايين التقريرات الفردية ، مثل " .. وهناك أيضا السيدة سميث من سان فرانسيسكو ، والتى ولدت فى ستيل بواشنطون ، وعمرها الآن خمسة وسبعون عاما ولديها

أربعة أطفال ، وعشرة أحفاد " فأننا نختصر المعلومة في قضايا إحصائية قصيرة ، وذلك عن طريق أسباب الملاءمة .

وفي بعض الأحيان لاتكون الوقائع الفردية مفيدة ولاينفى هذا أننا ينبغى أن نحصل على بعض منها . فإذا كان عدد السكان كبيرا ، لاينبغى أن نجرى حصرا شاملا لكل فرد فيه ، وإنما بدلا من ذلك نأخذ عينة تمثيلية فقط . فعلى سبيل المثال ، إذا كنا بصدد حصر ملكية العقارات ، وأوضحت العينة أن ثمة نسبة مئوية معينة من السكان يمتلكون عقارات ، فاننا نستنبط من ذلك أن نفس النسبة المئوية تقريبا تنطبق على مجموع السكان . وكان من الممكن أن نفحص كل حالة فردية على حدة ، ولكن توفيرا للوقت والجهد والتكلفة التى يتطلبها مثل هذا المشروع ، فإننا نفضل أن نأخذ عينة ونفحصها ، فإذا راعينا الدقة فى اختيار العينة الممثلة أمكننا أن نحصل على تقديرات عامة جيدة .

وحتى فى العلوم الفيزيائية والبيولوجية ، على الرغم من معرفتنا بالواقعة الفردية ، أو على الأقل سهولة الحصول عليها ، إلا أنه ينبغى أن نستعين بالقضايا الاحصائية .

ففى السلالة النباتية مثلا ربما نكتشف أن هناك حوالى ألف زهرة حمراء تخضع لشروط معينة ، ثم نكتشف فى فصيلة نباتات أخرى إن حوالى ٧٥ فى المائة من الزهرات بيضاء اللون ، وليست حمراء . وربما يكون عالم النبات على معرفة بالاعداد الحقيقية للزهرات الحمراء والبيضاء ، أو إذا لم يكن على دراية بذلك ، كان فى مقدوره أن يحصل على الاعداد الحقيقية عن طريق اجراء إحصاءات دقيقة ، ولكننا نجده ـ إذا لم تكن الحاجة ماسة إلى مثل هذه الدقة ـ يفضل التعبير عن نتائجه فى نسبة مئوية تقريبية .

وأحيانا تواجهنا صعوبات شديدة بل ومستحيلة فى أن نحصل على معلومة دقيقة عن الحالات الفردية . ففى حالة زهرة النرد مثلا ، إذا أردنا أن نتنبأ بالعدد الذى يظهر فى الرمية الواحدة بدقة ، واجرينا من أجل ذلك قياسات دقيقة عن وضع الزهر أثناء الرمية ، وسرعته ، ووزنه ، وطبيعة السطح الذى سوف يستقر عليه ، وهكذا ، فأننا نخفق فى التنبؤ الدقيق ، وذلك لأننا نفتقر ببساطة إلى ادوات القياس الدقيقة فى الوقت الحاضر . ومن ثم لانجد أمامنا إلا القانون الإحصائى نستعين به للتعبير عن تكرار طويل المدى .

ولقد أدت النظرية الحركية للغازات فى القرن التاسع عشر إلى صياغة العديد من القوانين

الاحتمالية فى مجال عرف باسم الميكانيكا الإحصائية فإذا كانت هناك كمية معينة ولتكن من الاكسجين تنتشر بضغط معين ودرجة حرارة معينة ، إذن فإن سرعة جزيئاتها سوف تتوزع توزيعا معينا . ولقد سمي هذا بقانون توزيع ماكسويل ـ بولتزمان . وينص على أن كل ثلاثة مكونات من السرعة يكون احتمال توزيعها هو مايطلق عليه اسم الدالة القياسية ( أو الجوسينية ) والتى يمكن تمثيلها بما يشبه منحنى الجرس . وهو قانون إحصائى يعبر عن وقائع يستحيل التعامل معها تقنيا ، لأنها تتعلق بكل جزئ فردى على حده . ويصبح الجهل هنا ـ وهذه نقطة هامة ـ أعمق من الجهل المتضمن فى الامثلة السابقة . لأنه حتى فى حالة الزهر يمكن أن نستعين بأدوات فى تحليل كل الوقائع الملاءمة إذ يمكننا تغذية الحاسب الاليكترونى بالوقائع الملاءمة وقبل أن يتوقف الزهر عن الدوران ، يبرق الحاسب مبينا " أن العدد سوف يكون ستة " . أما فيما يتعلق بجزيئات الغاز فاننا نفتقر إلى تقنية معروفة يمكننا بواسطتها أن نقيس اتجاه وسرعة كل جزئ أو فردى على حده ، ونضطر إلى تحليل بلايين النتائج لكى نحدد ما إذا كان قانون توزيع ماكسويل ـ بولتزمان ينعقد أم لا . ولقد صاغ الفيزيائيون ذلك القانون بوصفه قانونا ميكروفيزيائيا ، وتم التعبير عنه فى نظرية الغازات واثبت بواسطة اختبار العديد من النتائج المشتقة من القانون . ولقد كانت مثل هذه القوانين شائعة فى القرن التاسع عشر ، وبصفة خاصة فى المجالات التى يستحيل فيها الحصول على الوقائع الفردية أما اليوم فإن هذا النوع من القوانين يستخدم فى كل فرع من فروع العلم ، وبصفة خاصة فى العلوم البيولوجية والاجتماعية .

لقد كان فيزيائيو القرن التاسع عشر يدركون تمام الادراك أن قوانين الغازات الاحتمالية أو القوانين المتعلقة بسلوك الانسان إنما تخفى جهلا أكثر هوة من ذلك الجهل المتضمن فى قذف زهرة النرد . ومع ذلك كانوا مقتنعين ، من حيث المبدأ بامكانية الحصول على معلومة فى هذا الخصوص . وبالتأكيد لم تكن لديهم الوسائل التقنية التى تمكنهم من قياس الجزيئات الفردية . ولكن يستطيع الفيزيائى الآن أن يرى الجسيمات الدقيقة تحت الميكروسكوب ، يراها معلقة فى سائل ومتحركة بغير انتظام لأنها تندفع هنا وهناك لاصطدامها بجزيئات غير مرئية . كما أمكن رصد جسيمات أدق فأدق عن طريق ادوات افضل . وربما يتم فى المستقبل صنع ادوات تستخدم فى قياس مواضع وسرعات الجزيئات الفردية بدقة .

ولقد أدرك فيزيائيو القرن التاسع عشر أيضا ، أنه عندما يقل جزئ عن طول موجة ضوء مرئى ، فلايمكن رؤيته بميكروسكوب عادى . ولكنهم لم يستبعدوا امكانية وجود نماذج أخرى من الادوات نتمكن بها من قياس جسيمات أصغر من طول موجة الضوء وبالفعل استطعنا ذلك اليوم

عن طريق الميكروسكوب الاليكترونى .

ولقد أدركوا أيضا أن الملاحظة الدقيقة الكاملة شئ مستبعد ، فلابد أن يكون هناك عنصر اللاتعيين . ومعنى هذا أن قوانين العلم إحصائية ، ولكن ليس بالمعنى القوى . وكانوا على ثقة ـ وهذه نقطة هامة ـ إن الدقة والاحكام يزدادان على مر الأيام . فقد قيل عنهم أنهم صرحوا بأن فى امكانهم أن يقيسوا باحكام ما هو مكون من عددين عشريين ، ويمكنهم فى اليوم التالى أن يتوصلوا إلى قياس ثلاثة أعداد عشرية ، وخلال عدة عقود يمكنهم التوصل إلى عشرين أو مائة عـدد عشرى . فقد كانوا يفترضون أنه ليس ثمة قيد على ما يمكنهم الوصول إليه من دقة فى أى نموذج للقياس . ولقد افترض فيزيائيو القرن التاسع عشر والعديد من الفلاسفة أيضا أن خلف كل القوانين الماكروسكوبية ـ بقدرتها على تجنب اخطاء القياس ـ توجد قوانين ميكروسكوبية دقيقة ومحددة . ولايمكن بالطبع أن نرى الجزيئات الواقعية ، ولكن الحركة الناتجة عن تصادم جزيئين يمكن بالطبع تحديدها تماما عن طريق تعيين شروط ما قبل الاصطدام ، فإذا كانت كل هذه الشروط معلومة لامكننا أن نتنبأ بدقة بسلوك الجزيئات المتصادمة ، لأن سلوك الجزيئات ينبغى أن يعتمد على شئ ما ، ولايمكن أن يحدث بشكل تعسفى أو كيفما اتفق ، ولكن ينبغى أن تكون القوانين الأساسية للفيزياء حتمية .

كما أدرك فيزيائيو القرن التاسع عشر أيضا أن القوانين الأساسية نادرا ما تعبر عن الأشياء تعبيرا كاملا وتمثله تمثيلا خالصا ، وذلك بسبب تأثير العوامل الدخيلة أو الطارئة . ولقد عبروا عن ذلك بالتمييز بين القوانين الأساسية والقوانين المقيدة " Restricted Laws " وهى تلك القوانين التى تشتق من القوانين الأساسية . والقانون المقيد هو ببساطة ذلك القانون الذى تمت صياغته بشرط مقيد ، فهو يقرر مثلا أن هذا الشئ أو ذاك سوف يحدث فقط تحت " ظروف طبيعية " أو معتادة أننا نفترض مثلا أنه " إذا سخن قضيب الحديد " وكان فى درجة التجمد ثم وصل إلى درجة غليان الماء ، فإن طوله سوف يزداد " ولكن إذا كان القضيب مشدودا على منجلة قوية تضغط على حوافه وكان الضغط كافيا ، فإن القضيب لن يتمدد ، ويصبح افتراضنا خاطئا ولذلك يقال عن القانون أنه مقيد لأنه لاينعقد إلا تحت ظروف معتادة ، ولايحدث ذلك إلا إذا لم تكن هناك قوى أخرى تؤثر عليه .

وخلف كل قانون مقيد يوجد قانون أساسى ، وتقرير القانون الأساسى يكون دائما غير مشروط . افترض مثلا هذا القانون " ينجذب جسمان كل منهما للآخر بقوة تجاذب تتناسب طرديا

مع حاصل ضرب الكتلتين وعكسيا مع مربع المسافة بينهما " يعد تقرير هذا القانون غير مشروط . لأنه يمكن أن تكون هناك بالطبع قوى أخرى مثل الجاذبية المغناطيسية قد تتدخل فتغير من حركة أحد الجسمين ، ولكن ذلك لن يغير من كمية أو اتجاه القوة الجاذبة . والحقيقة أننا لسنا فى حاجة إلى شروط مقيدة تضاف إلى نص القانون . لأن هناك مثالا آخر تزودنا به معادلات ماكسويل فى المجال المغناطيسى من المعروف إن هذه المعادلات تنعقد بلا قيد أو شرط ، وبدقة مطلقة . ولقد كانت الصورة العظيمة التى قدمتها الفيزياء النيوتونية للعالم هى أن كل الحوادث التى تقع فيه يمكن تفسيرها مبدئيا عن طريق القوانين الاساسية . وهذه القوانين تخلو تماما من عنصر اللاتحديد . وكما أوضحنا فى فصل سابق ، صاغ لابلاس ، هذه النظرية الكلاسيكية صياغة دقيقة عندما افترض العقل الخيالى أو الانسان الخارق الذى إذا عرف كل القوانين الأساسية وكل وقائع العالم فى لحظة معينة لكان قادرا على أن يحسب كل حوادث العالم الماضية والمستقبلة .

بيد أن هذه الصورة الخيالية قد تحطمت تماما عند ظهور فيزياء الكم كما سنرى ذلك فى الفصل التالى والأخير .

**هوامش :**

(*) أو ما كان يطلق عليه فى ذلك الوقت اسم الاسباب غير الكافية " Insufficent " وعادة ما يسمى اليوم بمبدأ عدم المبالاة " The Principle of indiffirence " ( المترجم ) .

(**) أى الجهل بالاسباب ( المترجم ) .

□ الفصل الثلاثون □

# اللا حتمية فى فيزياء الكم

تعتمد السمة اللاحتمية لميكانيكا الكم أساسا على مبدأ عدم التحديد ، وتطلق عليه أحيانا مبدأ اللاتعيين أو علاقة اللاتعيين ، ولقد أعلنه أول مرة سنة ١٩٢٧ فيرنر هايزنبرج " Vetner Heisenberg " ، وهذا المبدأ يقرر بخشونة ، أن من المستحيل ، من حيث المبدأ أن نقيس زوجين معينين من المقادير المترافقة " Conjugate " ، فى نفس اللحظة وبدقة عالية .

واليك مثالا لهذين الزوجين :

(١) إن البعد الاحداثى ـ م لموقع جسيم مفترض فى زمن مفترض ( ومن جهة نظام احداثى مفترض هو ( ك م ) .

(٢) إن المركب ـ م لزخم ( قوة دفع ) نفس الجسيم فى نفس الزمن هو ( ق م ) . ( وهذا المركب هو نتاج كتلة الجسيم ومركب سرعته ـ م ) .

وينعقد نفس الأمر بالنسبة إلى الزوجين ك ن ، ق ن ، وبالنسبة إلى الزوجين ك هـ ، ق هـ .

افترض أننا اجرينا قياسات للمقادير المترافقة ق ، ك ، ووجدنا أن ق تقع على مسافة معينة من الطول△ ق ، وإن ك تقع على مسافة معينة من الطول△ك . يؤكد مبدأ اللاتعيين لهيزنبرج ، أننا إذا حاولنا أن نقيس ق بدقة فإن هذا يجعل △ق ضئيلا للغاية ، فلا نستطيع أن نقيس فى نفس اللحظة ك بدقة وذلك لأنه يجعل△ ك ضئيلا للغاية . وبتحديد أكثر ، لايمكن أن يكون ناتج△ق ، △ ك أصغر من القيمة المعينة التى تم التعبير عنها فى حدود ثابت بلانك h . فإذا كانت المقادير المترافقة مركبات للزخم والموضع،فإن مبدأ اللاتعيين يقرر أنه لايمكن مبدئيا قياسهما معا بدرجة عالية من الدقة.فإذا ما عرفنا بالضبط موضع الجسيم تصبح مركبات زخمه مبهمة وإذا ما عرفنا بالضبط ما هو زخمة،لايمكننا تحديد موضعه بالضبط . وبالطبع فى الاختبار العقلى فإن عدم دقة قياس هذا النوع يكون أكبر بكثير من الحد الأدنى المفترض فى مبدأ اللاتعيين . والنقطة

اللاتعيين . والنقطة الهامة هي أن هذه الاضطرابات الشديدة إنما تنحصر فى أن عدم الدقة هذه تعد جزءا لايتجزأ من قوانين نظرية الكم الاساسية ولاينبغى أن نعتقد فى ان التقييد الذى ذكره مبدأ اللاتعيين يرجع إلى عيوب فى وسائل القياس ، وبالتالى إذا ادخلنا بعض التحسينات . على تقنيات القياس نتمكن من احراز الدقة . وإنما هو قانون اساسى ولسوف يظل هكذا طالما بقيت قوانين نظرية الكم على صورتها الحالية .

ولايعنى هذا أن قوانين الفيزياء المسلم بها لايمكن أن تتغير أو أن مبدأ اللاتعيين لهيزنبرج لايمكن التخلى عنه أبدا . ولكن مع ذلك فاننى اعتقد أن من المناسب أن أؤكد على أنه سوف يحدث تغيير ثورى فى البنية الأساسية لفيزياء اليوم يزيل هذه الصورة . ويقتنع بعض علماء اليوم ( كما اقتنع اينشتين من قبل ) إن هذه الصورة الميكانيكا الكم الحديثة ، أمـر مشكوك فيه ، وربما يتم التخلى عنها فى يوم ما . هناك امكانية لذلك ، ولكن سوف تكون هذه الخطوة جذرية . وفى نفس الوقت ، لايمكن للمرء أن يتصور كيف يمكن استبعاد مبدأ اللاتعيين . إن الاختلاف .

إن الاختلاف الهام بين نظرية الكم والفيزياء الكلاسيكية يقع فى مفهوم الحالة اللحظية للنظام الفيزيائى . افترض على سبيل المثال ، نظاما فيزيائيا يحتوى على عدد من الجسيمات . فى الفيزياء الكلاسيكية ، توصف حالة هذا النظام فى الزمن ز١ ، وبشكل كامل عن طريق اعطاء كل جسيم قيم المقادير التالية ( وتسمى فى بعض الاحيان " متغيرات الحالة " ، وسوف أطلق عليها اسم" مقادير الحالة " ) . :

(أ ) احداثيات الموضع الثلاثة فى ز ١ .

(ب) مركبات الزخم الثلاثة فى ز ١ .

افترض إن هذا النظام يبقى معزولا اثناء الزمن من ز ١ إلى ز ٢ ، ويقال أنه لايتأثر أثناء هذا الفاصل الزمنى بأى اضطراب من الخارج . وإذن على أساس الحالة المفترضة للنظام فى ز١ ، تحدد قوانين الميكانيكا الكلاسيكية وحدها ( قيم كل مقادير الحالة ) فى ز٢ .

أما فى ميكانيكا الكم ، فإن الصورة تختلف تماما ( ولن نهمل هنا الاختلاف فى طبيعة تلك الجسيمات التى تطرأ اليها بوصفها نهائية بمعنى كونها لاتتجزأ أو لاتنقسم إذ لم تعد هذه الخاصية منسوبة إلى الذرات فى الفيزياء الحديثة ، ولكنها تنقسم إلى جسيمات أصغر مثل

الاليكترونات والبروتونات . وعلى الرغم من أن هذا الاختلاف يعد علامة على الخطوة العظيمة نحو التطور الحالى للفيزياء . إلا أنه ليس ضروريا بالنسبة لمناقشتنا الحالية التعلق بالمناهج الصورية لتعيين حالـة النظام ) . ففى ميكانيكا الكم ، تسمى مجموعة من مقادير الحالة بالنسبة لنظام مفترض فى زمن مفترض ، المجموعة الكاملة " إذا أمكن من حيث المبدأ ، أن نقيس أولا كل مقادير المجموعة بشكل لحظى ، وإذا تحددت ثانيا قيمتها بالنسبة لأى مقدار حالة أخرى وربما يتم قياسها بشكل لحظى عن طريق قيمتها مع كل أولئك الذين يكونون فى المجموعة وهكذا فى مثالنا ربما تتكون فئة من الجسيمات من مجموعة كاملة مـن المقاديـر التالية : بالنسبة لبعض الجسيمات تكون الاحداثيات ك م ، ك ن ، ك هـ ، وبالنسبة للجسيمات الأخرى ، تكون مركبات الزخم ق م ، ق ن ، ق هـ ، وبالنسبة للآخرين أيضا تكون ق م ، ك ن ، ق هـ أو ك م ، ك ن ، ق هـ . ومع ذلك بالنسبة للجسيمات الأخرى يتم التعبير عن المجموعة الأخرى المناسبة للمقادير الثلاثة فى حدود الـ ك ، س و ق ، س . وطبقا لمبادئ ميكانيكا الكم ، توصف حالة النظام فى زمن معلوم وبشكل كامل عن طريق تعيين قيم أية مجموعة كاملة من مقادير الحالة . ومن الواضح أنه يمكن النظر إلى مثل هذا الوصف باعتباره صورة غير مكتملة من وجهة النظر الكلاسيكية ، لانه اذا كانت المجموعة تتآلف من ك م إذن لما كانت ق م معلومة أو محددة بالقيم الأخرى فى المجموعة . ولكن يتوافق هذا التقييد لوصف الحالة مع مبدأ اللاتعيين : فإذا كانت ك م معلومة إذن تكون قيم مجهولة من حيث المبدأ . ومن السهل أن نرى أن هناك عددا ضخما ـ ولانهائيا حقا ـ من الاختبارات المختلفة الممكنة ، لمجموعة كاملة من مقادير الحالة بالنسبة لنظام مفترض . ويمكننا أن نختار تجربة لكى نجرى قياسات على مقادير أية واحدة من المجموعات الكاملة . وبعد اجراء القياس على القيم الدقيقة لمقاديـر المجموعـة المختارة ، فإن وصف الحالة التى تعين تلك القيم الواحدة هى ما يمكننا أن نعلق أننا نعرفها .

ويمكن فى ميكانيكا الكم ، تمثيل أية حالة فى نظام عن طريق دالة من نوع خاص ، تسمى " دالة الموجة " . وتحدد الدالة التى من هذا النوع ، القيم العددية لنقاط المكان ( ومع ذلك لايكون هذا بصفة عامة هو المكان المألوف ذو الابعاد الثلاثة ، وإنما هو مكان مجرد ذو أبعاد أكثر ) فإذا افترضنا مجموعة كاملة من مقادير الحالة بالنسبة للزمن ذا ، إذن لكانت دالة موجة النظام بالنسبة إلى ز ـ محددة بشكل وحيد . وعلى الرغم من أن كل هذه الدوال الموجبة تعتمد على مجموعة مقادير تبدو بصورة غير مكتملة من وجهة نظر الفيزياء الكلاسيكية ، إلا أنها تلعب فى ميكانيكا الكم دورا مماثلا لما تلعبه اوصاف الحالة فى الميكانيكا الكلاسيكية فتحت شرط العزل ـ كما سبق لنا القول ـ يمكن تحديد دالة الموجة بالنسبة للزمن ز ، على أساس دالة الموجة

المقترضة بالنسبة للزمن ز ١ . وذلك بمساعدة المعادلة المشهورة المعروفة باسم " معادلة شرود نجر التفاضلية " ، والتى ذكرها لأول مرة العالم الفيزيائى النمساوى العظيم أدوين شرودنجر " Edwin Schrodinger " . والصيغة الرياضية لهذه المعادلة تتخذ شكل القانون الجبرى وهى تخضع دالة الموجة الكاملة لـ ز ٢ ، ولذلك إذا قبلنا دوال الموجة بوصفها تمثيلات كاملة لحالات لحظية فإن ذلك سيقودنا إلى القول ، بإن الحتمية فى فيزياء الكم تظل باقية ولو على المستوى النظرى فحسب .

ومثل هذا التقرير ، على الرغم من أنه يلقى تأييدا من بعض الفيزيائيين إلا أنه يبدو لى مضللا ، لأنه يمكن أن يقود القارئ إلى التغاضى عن الحقيقة التالية . عندما نسأل دالة الموجة المحسوبة بالنسبة لنقطة زمن مستقبلى ز ٢ ، أن تخبرنا عن قيم مقادير الحالة فى ز ٢ ، فإن الاجابة تكون : إذا خططنا لأن نجعل فى ز ، مقياسا لمقدار حالة مخصوصة ـ ولتكن مثلا الاحداثية ـ هـ لموقع الجسم رقم ٥ ـ لما تنبأت دالة الموجة بالقيمة التى سوف يتوصل إليها مقياسنا.وإنما سوف تزودنا فقط بتوزيع احتمالى لقيم هذا المقدار الممكنة . وبصفة عامة ، فإن دالة الموجة سوف تعين احتمالات موجبة وبقيم ممكنة متعددة ( أو لفواصل فرعية لقيم ممكنة متعددة ) وفى بعض الحالات النوعية فقط تصل واحدة من القيم نظريا إلى درجة الاحتمال واحد أى درجة التأكيد ) وهنا يجوز لنا أن نقرر أن القيمة قد تم التنبؤ بها قطعيا . ومع ملاحظة أن دالة الموجة المحسوبة لـ ز ، تزودنا بتوزيع احتمالى لقيم مقدار كل حالة النظام الفيزيائى محل البحث ففى مثالنا الاسبق يعنى هذا أنه يزودنا بتوزيعات الاحتمال لكل المقادير المشار اليها فى كل من ( أ ) و(ب) . ومن ثم نجد أن نظرية الكم لاحتمية بشكل اساسى فهى لاتزودنا بتنبؤات ثابتة لنتائج القياسات ، وإنما هى تزودنا فقط بتنبؤات احتمالية .

ولأن دالة الموجة المحسوبة للزمن ز ٢ تخضع لتوزيعات احتمالية لمقادير الحالة الأولية ومن جهة الجسيمات الفردية فمن الممكن أيضا أن تشتق توزيعات الاحتمال لمقادير أخرى تم تعريفها فى حدود المقادير الأولية . ومن بين هذه المقادير الأخرى التى هى مقادير احصائية لمجموعة كل جسيمات النظام الفيزيائى أو للمجموعة الفرعية لهذه الجسيمات ، نجد أن العديد من هذه المقادير الاحصائية تنطبق على الخواص التى يمكن ملاحظتها ماكروسكوبيا مثل درجة حرارة جسم صغير ولكنه مرئى أو موضع أو سرعة مركز جاذبية جسم فإذا كان الجسم مؤلفا من بلايين الجسيمات مثل قمر صناعى يدور حول الأرض فإن موضعه وسرعته ودرجة حرارته ومقادير أخرى تخضع للقياس ، يمكن أن تحسب بدقة عالية . وفى حالات من هذا النوع ، يتخذ احتمال منحنى الثقل

النوعى للمقدار الاحصائى شكل وهذه هضبة حقيقة جدا . ولذلك يمكننا أن نعين المسافة الصغيرة التى تتكون منها الهضبة كلها بشكل عملى ، وكنتيجة لذلك يكون احتمال الحادث الذى تقع فيه قيمة المقدار فى هذه المسافة قريبا جدا من الواحد الصحيح . وهو يقترب من ذلك لأنه من أجل كل الاغراض العملية ، ينبغى أن نهمل السمة الاحتمالية للتنبؤ ، وأن نأخذ بها كما لو أنها مؤكدة . ولكن من وجهة نظر نظرية الكم فإن القمر إنما هو نظام مؤلف من بلايين الجسيمات ، وإنه بالنسبة لكل جسيم فردى هناك اضطراب لا مفر منه فى التنبؤات . وينطبق اللاتعيين الذى تعبر عنه قوانين الكم على القمر أيضا ولكنه يختزل بالكاد إلى الصفر ، وذلك بالنسبة إلى القوانين الاحصائية التى تغطى عددا كبيرا جدا من الجسيمات .

ومن ناحية أخرى هناك حالات ذات طبيعة مختلفة تماما ، يكون فيها وقوع الحادث مرصودا بشكل مباشر ، وبأقوى معنى لهذه الكلمة ، ولكنه مع ذلك يعتمد على سلوك عدد ضئيل جدا من الجسيمات ، بل وفى بعض الاحيان ، على جسيم فردى واحد فقط ـ وفى حالات من هذا النوع ، ينطبق عليه مبدأ اللاتعيين الذى ينطبق على سلوك جسيم فردى واحد . ويحدث هذا غالبا فى الحالات التى يكون فيها الحادث المجهرى ذا نشاط اشعاعى . فهو يحدث مثلا عندما ينبعث اليكترونا من جهاز بيتا للاضمحلال الاشعاعى " Beta- Dacay " فيصدر طقطقة يمكن سماعها بوضوح فى حاسب جيجر " Geiger counter " . وحتى إذا فرضنا فرضا مثاليا بأننا نعرف قيم المجموعة الكاملة من مقادير الحالة الاولية للجسيمات دون الذرية فى مجموعة صغيرة من الذرات المشعة ، والمكونة للجسم ب فى الزمن ز ١ ، فاننا لانستطيع أن نشتق إلا احتمالات الصدفة لمثل هذه الحوادث فى خلال الثانية الأولى التالية لـ ز ١ . جسيم لاينبعث منه شئ وجسيم ينبعث منه شعاع واحد ، وجسيم ينبعث منه اشعاعان ، وهكذا . فإذا كان الامر على هذا النحو ، فإن احتمال عدم الانبعاث فى خلال ثانية واحدة يقترب من الواحد الصحيح ، ومن ثم لانستطيع أن نتنبأ ، حتى بتقريب فج ، بالزمن الذى سوف يحدث فيه انبعاث الجسيم الأول وسبب طقطقة حاسب جيجر وإنما يمكننا أن نحدد فقط الاحتمالات والقيم المتعلقة بها ، أى أن نتوقع مثلا قيمة زمن الطقطقة الأولى .

وبالنظر إلى هذه الحالة ، يمكننا أن نقرر أن حتمية القرن التاسع عشر ، قد استبعدت من الفيزياء الحديثة . واعتقد أن معظم علماء الفيزياء اليوم ، يفضلون هذه الطريقة للتغير الجذرى الذى احدثته ميكانيكا الكم فى الصورة النيوتونية الكلاسيكية .

وعندما يقرر بعض الفلاسفة أمثال ارنست ناجل " Ernest Nagel " ، وعلماء فيزياء

آخرين أمثال هنرى مارجينو " Henry Margenau " ، أن الحتمية مازالت باقية فى القوانين التى تتعلق بحالات النظم ، وإن تعريف " حالة النظام " فقط هو الذى تغير . فاننى لن أعارض وجهات نظرهم ، لأن ما يقررونه صحيح . ولكـن فى رأيى الكلمة " فقط " يمكن أن تكون مضللة . لأنها تعطى انطباعا بأن التغير إنما هو مجرد إجابة مختلفة عن السؤال ما هى المقادير التى تميز حالة نظام ؟ بينما التغير فى الحقيقة يعد اساسيا بالفعل ، وبشكل أبعد بكثير مـن هذا . ولقد كان علماء الفيزياء الكلاسيكية مقتنعين بأنه مع تقدم البحث ، فإن القوانين سوف تصبح دقيقة أكثر فأكثر ، وإنه ليس ثمة حد مطلق لما تحوز عليه من احكام عند التنبؤ بالحوادث المرصودة . أما نظرية الكم فانها على العكس من ذلك ، وضعت نهاية لمثل هذا الحد المتبع . ولهذا السبب ، فاننى اعتقد ان مخاطرة سوء الفهم تتضاءل إذا قرنا أن بنية السببية ـ بنية القوانين ـ فى الفيزياء الحديثة ، تختلف بشكل أساسى عما كان سائدا فى عصر نيوتن وحتى نهاية القرن التاسع عشر . إذ أن الحتمية بالمعنى الكلاسيكى ، قد تم التخلى عنها نهائيا .

ومن السهل أن نفهم لماذا كان من الصعب نفسيا على الفيزيائيين أن يقبلوا هذه الصورة الجديدة كل الجدة للقانون الفيزيائى . فقد كان بلانك نفسه ـ وهو بطبيعته مفكر محافظ ـ شديد الهم عندما تحقق منذ البداية أن انبعاث وامتصاص الاشعاع لم يكن عملية مستمرة ، وإنما هو ينتقل فى وحدات غير منقسمة . وكان هذا الانفصال معارضا تماما للروح العامة للفيزياء التقليدية ، بحيث كان من الصعب جدا بالنسبة للعديد من الفيزيائيين وضمنهم بلانك نفسه ، أن يتكيفوا مع الطريقة الجديدة للتفكير .

ولقد أدت الطبيعة الثورية لمبدأ هيزنبرج فى اللاتعيين ببعض الفلاسفة والفيزيائيين . أن يرتأوا أن ثمة تغيرات أساسية قد جرت على لغة الفيزياء . ونادرا ما كان علماء الفيزياء أنفسهم يتحدثون كثيرا عن اللغة التى يستخدمونها . وإنما يأتى مثل هذا الحديث عادة من أولئك القلة من الفيزيائيين الذين يولون اهتمامهم أيضا إلى الأسس المنطقية للفيزياء ، أو من قبل المناطقة الذين قاموا بدراسة الفيزياء وكان هؤلاء وأولئك يسألون أنفسهم : " الاينبغى أن تتعدل لغة الفيزياء لتتلاءم مع علاقات اللاتعيين ؟ وإذا كان الأمر كذلك كيف يتسنى ذلك ؟ " .

بيد أن الغالبية العظمى من المقترحات التى قدمت لاجراء مثل هذا التعديل ، قد اهتمت فقط بالصورة المنطقية المستخدمة فى الفيزياء . ولقد عبر كل مـن فيليب فرانـك ، وموريتز شليـك ( وكان شليك آنئذ فيلسوفا فى فيينا ، وفرانك عالما فيزيائيا فى براغ ) عن وجهة نظرهما فى

هذا الموضوع لأول مرة . وهى تلك الوجهة من النظر التى تنحصر فى أنه تحت شروط معينة ، يمكن اعتبار اقتران قضيتين ذات معنى فى الفيزياء ، بلا معنى . افترض مثلا أن هناك تنبؤين يتعلقان بقيم مقادير مترافقة لنفس النظام فى نفس الوقت . كأن تتنبأ القضية أ بموقع الاحداثيات الدقيق لجسيم فى زمن معين ، وتعطى القضية ب مركبات الزخم الثلاثة لنفس الجسيم فى نفس الوقت . تعرف من مبدأ اللاتعيين لهيزنبرج ، أنه سيكون لدينا الاختياران التاليان فقط :

١ ـ يمكننا أن نجرى تجربة ( ونحن مزودون بالطبع بأدوات جيدة بشكل كاف ) وعن طريقها نعلم موقع الجسيم بدقة عالية ، ولا أقول بدقة كاملة . فى هذه الحالة ، لن يكون تحديدنا لزخم الجسيم محكما .

٢ ـ وبدلا من هذا يمكننا أن نجرى تجربة أخرى ، نقيس عن طريقها مركبات زخم الجسيم بدقة عالية جدا . لكننا ، فى هذه الحالة ينبغى أن نقنع بتحديد غير دقيق تماما لموقع الجسيم .

وبالاختصار يمكننا أن نختبر إما أ أو ب ولانستطيع أن نختبر أ و ب معا . ولقد كتب مارتن شتراوس " Martin Strauss " اطروحته للدكتوراه فى هذا الموضوع ، وكان تلميذا لفرانك ، ثم عمل أخيرا مع نيلزبور " Niels Bohr " فى كوبنهاجن . لقد قرر شتراوس أنه ينبغى أن يؤخذ اقتران أ ، ب بوصفه بلا معنى ، وذلك لأنه غير قابل للاثبات . فيمكننا أن نحقق أ ، إذا رغبنا فى ذلك بأى احكام مطلوب كما يمكننا أن نفعل نفس الشئ مع ب ، ولكن لايمكننا أن نفعل ذلك مع " أ ب " معا . ولذلك لاينبغى أن نعتبر الاقتران قضية ذات معنى . ولهذا السبب شدد شتراوس على اهمية تعديل صيغة القواعد الخاصة بلغة الفيزياء ( وهى القواعد الخاصة بالصيغ المسموح بها للجمل ) وفى رأيى يعد هذا التغيير الجذرى شيئا غير مستحسن .

بيد أن هناك اقتراحا آخر مماثلا تقدم به كل من الرياضيين جاريت بيركهوف " Garret Birkhoff " ، وجون فون نيومان " Von Neumann " ، فقد اقترحا تغييرا ، ليس فى صيغ القواعد ، وإنما فى تحويل القواعد ( وهى القواعد التى عن طريقها يمكن اشتقاق جملة من جملة أخرى أو من مجموعة من الجمل ) كما اقترحا أن يتخلى الفيزيائيون عن واحدة من قوانين التوزيع فى منطق القضايا (١) .

وهناك اقتراح ثالث تقدم به هانز ريشنباخ الذى اقترح احلال المنطق ذى القيم الثلاث محل

المنطق التقليدى ذى القيمتين بحيث تكون لكل قضية ثلاث قيم ممكنـــة : ص ( صـــادق ) ، ك ( كاذب ) ، غ ( غير محددة ) . أى ينبغى احلال قانون الرابع المرفوع محل قانون الثالث المرفوع الكلاسيكى ( أى القضية التى ينبغى أن تكون اما صادقة أو كاذبة ، ولا توجد امكانية ثالثة ) ففى قانون الرابع المرفوع ، ينبغى أن تكون القضية اما صادقة أو كاذبة أو غير محددة ، وليس ثمة بديل رابع . فعلى سبيل المثال ، ربما نجد أن القضية ب التى تعبر عن زخم جسيم صادقة ، إذا اجرينا عليها تجربة مناسبة . ولكن فى هذه الحالة لابد أن تكون القضية أ التى تعبر عن موقع الجسيم غير محددة . وهى غير محددة لأن من المستحيل مبدئيا تحديد صدقها أو كذبها فى نفس اللحظة التى تثبت فيها القضية ب . أما إذا تم اثبات أ بدلا منها ، حينئذ لن تكون ب محددة . وبكلمات أخرى هناك مواقف فى الفيزياء الحديثة ، إذا كانت فيها قضايا معينة صادقة ينبغى أن تكون قضايا أخرى غير محددة .

ولقد وجد ريشنباخ إن من الضرورى ـ لكى يتجه إلى قيم الصدق الثلاثة ـ اعادة تعريف الروابط المنطقية المعتادة ( التضمن ) الفصل ، الربط ، وهكذا ) بجداول للصدق أعقد بكثير من تلك المستخدمة لتعريف الروابط فى المنطق ثنائى القيم المألوف ، كما أدى به إلى ادخال روابط جديدة . ومرة أخرى يداخلنى احساس بأنه إذا كان من الضرورى تعقيد المنطق بهذه الصورة فمن الاجدر أن يكون هذا مقبولا . ومع ذلك ، لا استطيع أن أرى فى الوقت الراهن أية ضرورة لمثل هذه الخطوة الراديكالية .

وينبغى بالطبع أن ننتظر حتى نرى كيف تمضى الأشياء فى مستقبل تطور الفيزياء . ولسوء الحظ ، علماء الفيزياء وحدهم هم الذين يقدمون نظرياتهم بالصورة التى يرغبونها ، وليس كما يود المنطقيون . فهم لايقولون مثلا : " هذه هى لغتنا وهى مكونة من تلك الحدود الأولية ، وهذه هى قواعد الصياغة ، حيث توجد الديهيات المنطقية . " وهم إذا قدموا على الأقل بديهياتهم المنطقية ، لكان فى امكاننا أن نعرف ما إذا كانوا متفقين مع فون نيومان أو ريشنباخ أم لا ، أو ما إذا كانوا يفضلون المنطق الثنائى القيم أم لا . كما أن من الافضل أيضا أن نحصل على المسلمات الكاملة لحقل الفيزياء مذكورة فى شكل نسقى بحيث يمكن أن يشتمل ذلك على المنطق الصورى . وإذا تم عمل هذا لكان من الاسهل علينا أن نحدد ما إذا كانت هناك أسباب وجيهة لتغيير المنطق السائد أم لا .

والحقيقة أننا نشير هنا إلى المشكلات العميقة المتعلقة بلغة الفيزياء ، والتى لم تحل بعد كما

أن هذه اللغة ، باستثناء اقسامها الرياضية ، مازالت لغة طبيعية إلى حد كبير ذلك لأن تعلم قواعدها يتم بشكل ضمنى عمليا ، كما أن صياغتها تتم بشكل قطعى فقط . وهناك بالطبع الاف الحدود والعبارات الجديدة الغريبة على لغة الفيزياء قد تـم تبينها ، كما تم فى حالات قليلة ، اختراع قواعد معينة لاستعمال بعض من هذه الحدود والرموز التقنية . وكمثل لغات علوم أخرى تزايدت دقة وكفاية لغة الفيزياء وسوف يستمر هذا الاتجاه بالتأكيد ومع ذلك فإن تطور ميكانيكا الكم ، لم يؤثر بعد التأثير الكامل فى صقل لغة الفيزياء فى عصرنا الراهن .

ومن الصعب أن نتنبأ كيف ستتغير لغة الفيزياء ولكننى على قناعة بأن هناك اتجاهين قد يقودان إلى تحسينات كبيرة فى لغة الرياضيات ، ومن ثم يتحقق تأثير مماثل فى صقل وتوضيح لغـــة الفيزياء ، وإن هذا سوف يتم فى غضون النصف الأخير من القرن الحالى . وهذان الاتجاهان هما : تطبيق المنطق الحديث ونظرية المجموعة ، وتبنى المنهج الاكسيوماتيكى فى صورته الحديثة التى تفترض لغة صورية . أما فى الوقت الراهن ، فإن مضمون النظريات والبنية المفهومية للفيزياء كلها تخضع لمناقشة حامية واتوقع أن تساعد هذا المناهج على تحقيق تقدم ما .

إننا نواجه هنا بتحد مثير يستوجب تعاونا أوثق بين علماء الفيزياء والمنطقيين ، والأمر منوط بأولئك الرجال حديثى السن الذين درسوا الفيزياء والمنطق معا . وأننى مازلت مقتنعا بأن تطبيق المنطق الحديث والمنهج الاكسيوماتيكى على الفيزياء ، سوف يفعل أكثر بكثير من مجرد تحسين الصلة بين علماء الفيزياء والعلماء الآخرين . كما أننى أشعر أن شيئا ما عظيم الأهمية إلى حد بعيد سوف ينجز ولسوف يجعل من الاسهل تكوين مفاهيم جديدة لصياغة فروض جديدة . لأن فى السنوات الحالية ، تم تجميع كمية كبيرة جدا من النتائج التجريبية الحديثة ، يؤدى معظمها إلى تحسين كبير فى الادوات التجريبية مثلما حدث عندما تحطمت الذرة الكبيرة فأدى ذلك إلى تقدم سريع فى تطور ميكانيكا الكم . بيد أن المجهودات التى بذلت لاعادة بناء النظرية يمثل هذه الطريقة التى تجعل كل المعطيات الجديدة مناسبة لها لم تنجح بعد لسوء الحظ . فقد ظهرت بعض الالغاز المحيرة المدهشة والمآزق المربكة ، أدت الحلول الهامة التى توصلوا لها إلى صعوبات أشد ـ ويبدو من المناسب أن نفترض ان استخدام ادوات مفهومية جديدة يمكن أن يكون مساعدا ضروريا .

ويعتقد بعض الفيزيائيين أن ثمة فرصة سانحة لاقتحام ميادين جديدة فى المستقبل القريب . وسواء تم ذلك فى القريب العاجل أو فيما بعد ، فاننى لعلى ثقة من أن القواد السياسيين للعالم

سوف يتخلون نهائيا عن حماقة الحرب النووية وسوف يسمحون للانسانية أن تحيا ـ فيستمر العلم فى تقدمه العظيم ويؤدى بنا إلى استبصارات أعمق على الدوام فى بنية العالم .

## هوامش :

(١) طبقا للمنطق الرمزى الذى وضعه كل من رسل وهوايتهد فى كتابهما المشترك " مبادئ الرياضيات " يكون لقانون التوزيع صورتان :

١ ـ {( ق . ق ل )} = { ( ق . ك ) ٧ ( ق . ل ) }

٢ ـ { ق٧ ( ك . ل ) } = { ( ق ٧ ك ) . ( ق ٧ ل ) } .

مع ملاحظة أن الثوابت الرمزية . ، ٧ ، = تعنى على التوالى : و ، أو ، يكافئ . ( المترجم ) .

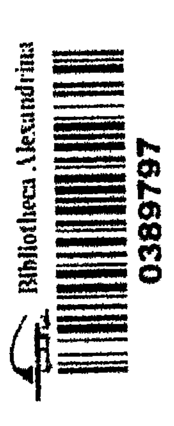
# المحتويات

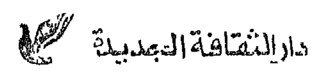
---


شركة الفجر للطباعة

العاشر من رمضان

ت : ٣٦٢٨٨١ ـ ٠١٥


Bibliotheca Alexandrina
0389797


دار الثقافة الجديدة